

5 #5



Docket No. 501.41175X00

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): NAKANO, et al

Serial No.: 10/075,244

Filed: February 15, 2002

Title: METHOD AND APPARATUS FOR PLASMA PROCESSING

LETTER CLAIMING RIGHT OF PRIORITY

Honorable Commissioner of
Patents and Trademarks
Washington, D.C. 20231

June 10, 2002

Sir:

Under the provisions of 35 USC 119 and 37 CFR 1.55, the
applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on:

Japanese Patent Application No. 2002-043083
Filed: February 20, 2002

A certified copy of said Japanese Patent Application is
attached.

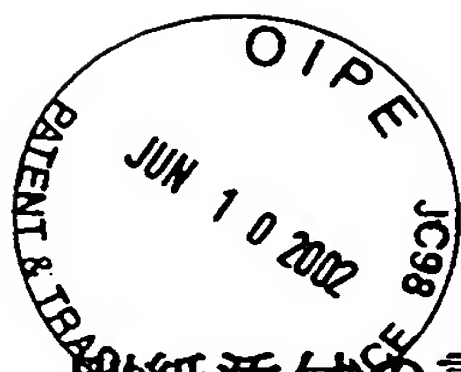
Respectfully submitted,

ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP

Melvin Kraus

Registration No. 22,466

MK/gfa
Attachment



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 2月20日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-043083

[ST.10/C]:

[JP 2002-043083]

出 願 人

Applicant(s):

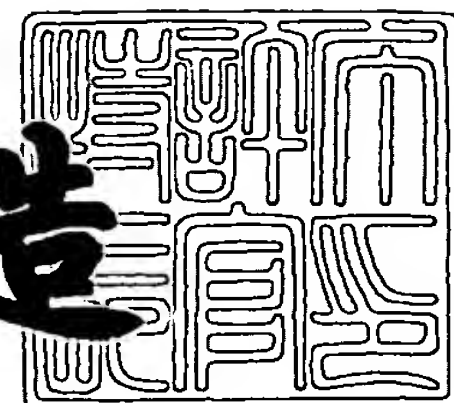
株式会社日立製作所



2002年 5月24日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3037547

【書類名】 特許願

【整理番号】 NT01P0897

【提出日】 平成14年 2月20日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/302

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立
 製作所 生産技術研究所内

 【氏名】 中野 博之

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立
 製作所 生産技術研究所内

 【氏名】 中田 俊彦

【特許出願人】

 【識別番号】 000005108

 【氏名又は名称】 株式会社日立製作所

【代理人】

 【識別番号】 100068504

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 小川 勝男

 【電話番号】 03-3661-0071

【選任した代理人】

 【識別番号】 100086656

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 田中 恭助

 【電話番号】 03-3661-0071

【選任した代理人】

 【識別番号】 100094352

 【弁理士】

【氏名又は名称】 佐々木 孝

【電話番号】 03-3661-0071

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 081423

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プールの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体の製造方法並びにプラズマ処理方法およびその装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

処理室内にプラズマを発生させ、該発生したプラズマによって半導体基板に対して処理して半導体を製造する半導体の製造方法において、

光ビームを観察窓を通して前記処理室内に照射する照射ステップと、

該照射ステップにより前記処理室の内壁からの凹凸状態の変化に伴って変化が生じる反射光像を観察窓を通して結像光学系で結像させて検出器で受光して受光信号として検出する検出ステップと、

該検出ステップによって検出された受光信号の変化を基にして算出される前記処理室の内壁の汚染状況を基に前記半導体基板に対するプラズマ処理を制御する制御ステップとを有することを特徴とする半導体の製造方法。

【請求項 2】

前記検出ステップにおいて、前記結像光学系で結像させて検出器で受光する光像がスペックルパターン像であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体の製造方法。

【請求項 3】

前記検出ステップにおいて、前記反射光像を観察窓を通して結像光学系で結像させて検出器で受光する際、前記処理室内のプラズマから発生する光をフィルタで遮光することを特徴とする請求項 1 または 2 記載の半導体の製造方法。

【請求項 4】

前記照射ステップにおいて、前記ビームを処理室内に照射する際、前記処理室の内壁の複数個所に照射できるように前記ビームを走査することを特徴とする請求項 1 または 2 または 3 記載の半導体の製造方法。

【請求項 5】

前記照射ステップにおける前記ビームを照射する観察窓と前記検出ステップにおける前記反射光像を通す観察窓とが同一であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか一つに記載の半導体の製造方法。

【請求項 6】

処理室内にプラズマを発生させ、該発生したプラズマによって半導体基板に対して処理して半導体を製造する半導体の製造方法において、

所望の周波数で強度変調したビームを観察窓を通して前記処理室内に照射する照射ステップと、

該照射ステップにより照射された前記処理室の内壁からの凹凸状態の変化に伴って変化が生じる反射光像を観察窓を通して結像光学系で結像させて検出器で受光して受光信号として検出し、該検出された受光信号の中から前記強度変調周波数成分を抽出することによって処理室の内壁の凹凸状態の変化を示す信号をプラズマによるものから分離して検出する検出ステップと、

該検出ステップにより検出された信号の変化を基にして算出される前記処理室の内壁の汚染状況を基に前記半導体基板に対するプラズマ処理を制御する制御ステップとを有することを特徴とする半導体の製造方法。

【請求項 7】

前記検出ステップにおいて、前記結像光学系の結像位置に設置された絞りによって制限された光像を検出器で受光することを特徴とする請求項 6 記載の半導体の製造方法。

【請求項 8】

前記照射ステップにおいて、前記強度変調するビームが所望の波長を有し、

前記検出ステップにおいて、前記反射光像を観察窓を通して結像光学系で結像させて検出器で受光する際、前記所望の波長成分で分離することを特徴とする請求項 6 または 7 記載の半導体の製造方法。

【請求項 9】

前記照射ステップにおいて、前記ビームを処理室内に照射する際、前記処理室の内壁の複数個所に照射できるように前記ビームを走査することを特徴とする請求項 6 乃至 8 の何れか一つに記載の半導体の製造方法。

【請求項 10】

前記照射ステップにおける前記ビームを照射する観察窓と前記検出ステップにおける前記反射光像を通す観察窓とが同一であることを特徴とする請求項 6 乃至

9 の何れか一つに記載の半導体の製造方法。

【請求項 1 1】

処理室内にプラズマを発生させ、該発生したプラズマによって半導体基板に対して処理して半導体を製造する半導体の製造方法において、

所望の周波数で強度変調したビームを観察窓を通して前記処理室内に照射する照射ステップと、

該照射ステップにより前記処理室の内部からの観察窓を通して得られる反射光像を分岐光学系で分岐し、該分岐された一方の反射光像を第 1 の結像光学系で結像させて第 1 の検出器で受光して第 1 の受光信号に変換し、該変換された第 1 の受光信号の中から前記強度変調周波数成分を抽出することによってプラズマ中若しくはその近傍に浮遊した異物を示す第 1 の信号をプラズマによるものから分離して検出し、前記分岐された他方の反射光像を第 2 の結像光学系で結像させて第 2 の検出器で受光して第 2 の受光信号に変換し、該変換された第 2 の受光信号の中から前記強度変調周波数成分を抽出することによって処理室の内壁の凹凸状態の変化を示す第 2 の信号をプラズマによるものから分離して検出する検出ステップと、

該検出ステップで検出された第 1 の信号を基にして算出されるプラズマ中若しくはその近傍に浮遊する異物の発生状況または前記検出ステップで検出された第 2 の信号の変化を基にして算出される前記処理室の内壁の汚染状況を基に前記半導体基板に対するプラズマ処理を制御する制御ステップとを有することを特徴とする半導体の製造方法。

【請求項 1 2】

前記検出ステップにおいて、前記第 2 の結像光学系の結像位置に設置された絞りによって制限された光像を第 2 の検出器で受光することを特徴とする請求項 1 記載の半導体の製造方法。

【請求項 1 3】

前記検出ステップにおいて、前記第 1 の結像光学系の結像位置に設置された空間フィルタによって前記処理室の内壁からの散乱反射光を遮光することを特徴とする請求項 1 1 または 1 2 記載の半導体の製造方法。

【請求項 1 4】

前記照射ステップにおいて、前記ビームを処理室内に照射する際、前記処理室の内壁の複数個所に照射できるように前記ビームを走査することを特徴とする請求項 1 1 乃至 1 3 の何れか一つに記載の半導体の製造方法。

【請求項 1 5】

前記照射ステップにおける前記ビームを照射する観察窓と前記検出ステップにおける前記反射光像を通す観察窓とが同一であることを特徴とする請求項 1 1 乃至 1 4 の何れか一つに記載の半導体の製造方法。

【請求項 1 6】

処理室内にプラズマを発生させ、該発生したプラズマによって被処理基板に対して処理するプラズマ処理方法において、

光ビームを観察窓を通して前記処理室内に照射する照射ステップと、

該照射ステップにより前記処理室の内壁からの凹凸状態の変化に伴って変化が生じる反射光像を観察窓を通して結像光学系で結像させて検出器で受光して受光信号として検出する検出ステップと、

該検出ステップによって検出された受光信号の変化を基にして前記処理室の内壁の汚染状況を判定する判定ステップとを有することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 1 7】

処理室内にプラズマを発生させ、該発生したプラズマによって被処理基板に対して処理するプラズマ処理方法において、

所望の周波数で強度変調したビームを観察窓を通して前記処理室内に照射する照射ステップと、

該照射ステップにより照射された前記処理室の内壁からの凹凸状態の変化に伴って変化が生じる反射光像を観察窓を通して結像光学系で結像させて検出器で受光して受光信号として検出し、該検出された受光信号の中から前記強度変調周波数成分を抽出することによって処理室の内壁の凹凸状態の変化を示す信号をプラズマによるものから分離して検出する検出ステップと、

該検出ステップにより検出された信号の変化を基にして前記処理室の内壁の汚

染状況を判定する判定ステップとを有することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 1 8】

処理室内にプラズマを発生させ、該発生したプラズマによって被処理基板に対して処理するプラズマ処理方法において、

所望の周波数で強度変調したビームを観察窓を通して前記処理室内に照射する照射ステップと、

該照射ステップにより前記処理室の内部からの観察窓を通して得られる反射光像を分岐光学系で分岐し、該分岐された一方の反射光像を第 1 の結像光学系で結像させて第 1 の検出器で受光して第 1 の受光信号に変換し、該変換された第 1 の受光信号の中から前記強度変調周波数成分を抽出することによってプラズマ中若しくはその近傍に浮遊した異物を示す第 1 の信号をプラズマによるものから分離して検出し、前記分岐された他方の反射光像を第 2 の結像光学系で結像させて第 2 の検出器で受光して第 2 の受光信号に変換し、該変換された第 2 の受光信号の中から前記強度変調周波数成分を抽出することによって処理室の内壁の凹凸状態の変化を示す第 2 の信号をプラズマによるものから分離して検出する検出ステップと、

該検出ステップで検出された第 1 の信号を基にしてプラズマ中若しくはその近傍に浮遊する異物の発生状況または前記検出ステップで検出された第 2 の信号の変化を基にして前記処理室の内壁の汚染状況を判定する判定ステップとを有することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 1 9】

処理室内にプラズマを発生させ、該発生したプラズマによって被処理基板に対して処理するプラズマ処理装置において、

光ビームを前記処理室に設けた観察窓を通して前記処理室内に照射する照射光学系と、

該照射光学系により前記処理室の内壁からの凹凸状態の変化に伴って変化が生じる反射光像を前記処理室に設けた観察窓を通して結像光学系で結像させて検出器で受光して受光信号として検出する検出光学系と、

該検出光学系の検出器によって検出された受光信号の変化を基にして前記処理

室の内壁の汚染状況を判定する判定処理部とを備えたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2 0】

前記照射光学系および前記検出光学系に共通する偏光状態を変える波長板を備えたことを特徴とする請求項 1 9 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 2 1】

前記検出検出光学系において、前記結像光学系で結像させて検出器で受光する光像がスペックルパターン像であることを特徴とする請求項 1 9 または 2 0 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 2 2】

処理室内にプラズマを発生させ、該発生したプラズマによって被処理基板に対して処理するプラズマ処理装置において、

所望の周波数で強度変調したビームを観察窓を通して前記処理室内に照射する照射光学系と、

該照射光学系により照射された前記処理室の内壁からの凹凸状態の変化に伴って変化が生じる反射光像を観察窓を通して結像光学系で結像させて検出器で受光して受光信号として検出する検出光学系と、

該検出光学系の検出器によって検出された受光信号の中から前記強度変調周波数成分を抽出することによって処理室の内壁の凹凸状態の変化を示す信号をプラズマによるものから分離して検出する検出手段と、

該検出手段により検出された信号の変化を基にして前記処理室の内壁の汚染状況を判定する判定手段とを備えたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2 3】

処理室内にプラズマを発生させ、該発生したプラズマによって被処理基板に対して処理するプラズマ処理装置において、

所望の周波数で強度変調したビームを観察窓を通して前記処理室内に照射する照射光学系と、

該照射光学系により前記処理室の内部からの観察窓を通して得られる反射光像を分岐する分岐光学系と該分岐光学系で分岐された一方の反射光像を第 1 の結像

光学系で結像させて第 1 の検出器で受光して第 1 の受光信号に変換する第 1 の検出光学系と前記分岐光学系で分岐された他方の反射光像を第 2 の結像光学系で結像させて第 2 の検出器で受光して第 2 の受光信号に変換する第 2 の検出光学系とを備えた検出光学系と、

前記第 1 の検出光学系の第 1 の検出器で変換された第 1 の受光信号の中から前記強度変調周波数成分を抽出することによってプラズマ中若しくはその近傍に浮遊した異物を示す第 1 の信号をプラズマによるものから分離して検出する第 1 の検出手段と、

前記第 2 の検出光学系の第 2 の検出器で変換された第 2 の受光信号の中から前記強度変調周波数成分を抽出することによって処理室の内壁の堆積状態を示す第 2 の信号をプラズマによるものから分離して検出する第 2 の検出手段と、

前記第 1 の検出手段で検出された第 1 の信号を基にしてプラズマ中若しくはその近傍に浮遊する異物の発生状況または前記第 2 の検出手段で検出された第 2 の信号の変化を基にして前記処理室の内壁の汚染状況を判定する判定手段とを備えたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2 4】

前記第 2 の検出光学系において、前記第 2 の結像光学系の結像位置に絞りを設置することを特徴とする請求項 2 3 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 2 5】

前記第 1 の検出光学系において、前記第 1 の結像光学系の結像位置に空間フィルタを設置することを特徴とする請求項 2 3 または 2 4 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 2 6】

前記照射光学系において、前記ビームを処理室内に照射する際、前記処理室の内壁の複数個所に照射できるように前記ビームを走査する走査光学系を有することを特徴とする請求項 2 3 乃至 2 5 の何れか一つに記載のプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体基板や液晶基板などの半導体の製造方法およびその装置に係り、特に、薄膜の生成（成膜）やエッチング等の加工を行う処理室（真空処理室）内に浮遊した異物、及び、処理室の汚染状況を、*i n - s i t u*計測する機能を備えた半導体の製造方法並びにプロセス処理方法およびその装置に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

エッチング装置を始めとして、プラズマを用いた処理が半導体製造工程や液晶表示装置用基板製造工程に広く適用されている。

【 0 0 0 3 】

このように、プラズマを用いた処理装置では、プラズマ処理による例えばエッチング反応によって生成された反応生成物が、プラズマ処理室の壁面あるいは電極に堆積し、これが時間経過に伴い、剥離して浮遊異物となることが知られている。この浮遊異物は、エッチング処理が終了しプラズマ放電が停止した瞬間に、ウェハ上に落下して付着異物となり、回路の特性不良やパターン外観不良を引き起こす。そして、最終的には、歩留まりの低下や素子の信頼性低下の原因となる。

【 0 0 0 4 】

上記ウェハ等の被処理基板の表面に付着した異物を検査する装置は、多数報告され実用化されているが、これらは、プラズマ処理装置から一旦被処理基板を抜き出して検査を行うもので、異物が多く発生していると判った時点では、既に他のウェハの処理が進んでおり、不良の大量発生による歩留まりの低下の問題がある。また、処理後の評価では、処理室内の異物発生の分布、経時変化などは判らない。従って、処理室内の汚染状況を *i n - s i t u* でリアルタイムモニタする技術が、半導体製造や液晶製造等の分野で求められている。

【 0 0 0 5 】

処理室内で浮遊する異物の大きさは、サブミクロンから数百 μm の範囲であるが、256 M b i t D R A M (Dynamic Random Access Memory)、さらには1 G b i t D R A M へと高集積化が進む半導体の分野においては、回路パターンの最小線幅は0.25～0.18 μm と微細化の一途を辿っており、検出すべき異物の

大きさもサブミクロンオーダーが要求されている。

【 0 0 0 6 】

プラズマ処理室等の処理室（真空処理室）内に浮遊した異物をモニタする従来技術としては、特開昭 5 7 - 1 1 8 6 3 0 号公報（従来技術 1）、特開平 3 - 2 5 3 5 5 号公報（従来技術 2）、特開平 3 - 1 4 7 3 1 7 号公報（従来技術 3）、特開平 6 - 8 2 3 5 8 号公報（従来技術 4）、特開平 6 - 1 2 4 9 0 2 号公報（従来技術 5）、特開平 1 0 - 2 1 3 5 3 9 号公報（従来技術 6）、特開平 1 1 - 2 5 1 2 5 2 号公報（従来技術 7）、および特開平 1 1 - 3 3 0 0 5 3 号公報（従来技術 8）に開示された技術が挙げられる。

【 0 0 0 7 】

上記従来技術 1 には、反応空間における自己発光光のスペクトルと異なったスペクトルを有する平行光を反応空間に照射する手段と、上記平行光の照射を受けて上記反応空間において発生する微粒子からの散乱光を検出する手段とを、具備した蒸着装置が開示されている。

【 0 0 0 8 】

また、上記従来技術 2 には、半導体装置用基板表面に付着した微細粒子及び浮遊している微細粒子を、レーザ光による散乱を用いて測定する微細粒子測定装置において、波長が同一で相互の位相差がある所定の周波数で変調された 2 本のレーザ光を発生させるレーザ光位相変調部と、上記 2 本のレーザ光を上記の測定対象である微細粒子を含む空間において交差させる光学系と、上記 2 本のレーザ光の交差された領域において測定対象である微細粒子により散乱させた光を受光し、電気信号に変換する光検出部と、この散乱光による電気信号の中で上記レーザ光位相変調部での位相変調信号と周波数が同一または 2 倍で、かつ上記位相変調信号との位相差が時間的に一定である信号成分を取り出す信号処理部とを、備えた微細粒子測定装置が開示されている。

【 0 0 0 9 】

また、上記従来技術 3 には、コヒーレント光を走査照射して反応容器内で散乱する光をその場で発生させるステップと、上記反応容器内で散乱する光を検出するステップとを含み、それにより上記散乱光を解析することで、上記反応容器内

の汚染状況を測定する技術が記載されている。

【 0 0 1 0 】

また、上記従来技術 4 には、レーザ光を生成するレーザ手段と、観測されるべき粒子を含むプラズマ処理ツールの反応室内の領域を上記レーザ光で走査するスキャナ手段と、上記領域内の粒子によって散乱したレーザ光のビデオ信号を生成するビデオカメラと、上記ビデオ信号のイメージを処理し表示する手段とを、有する粒子検出器が記載されている。

【 0 0 1 1 】

また、上記従来技術 5 には、プラズマ処理室内のプラズマ発生領域を観測するカメラ装置と、該カメラ装置により得られた画像を処理して目的とする情報を得るデータ処理部と、該データ処理部にて得られた情報に基づいてパーティクルを減少させるように排気手段、プロセスガス導入手段、高周波電圧印加手段及びページガス導入手段のうち少なくとも 1 つを制御する制御部とを、備えたプラズマ処理装置が記載されている。

【 0 0 1 2 】

また、上記従来技術 6 には、測定体積を横切って照射する光ビームを送出する光送出器と、光検出器と上記測定体積からの散乱光を集光してその光を上記光検出器に向ける光学系とを含み、その光検出器に向けられた光の強度を表す信号をその光検出器が発生するように構成した検出器と、前記光検出器からの信号を分析するように相互接続され、前記光検出器からの信号の中のパルスを検出するパルス検出器と、微粒子に対応しその微粒子が前記測定体積の中を動く間の前記ビームによる複数回の照射に伴う前記微粒子による散乱光に起因する一連のパルスを特定する事象検出器とを含む信号処理手段とを含む微粒子センサが記載されている。

【 0 0 1 3 】

また、上記従来技術 7 には、処理室内にプラズマを発生させ、該プラズマによって被処理対象物に対して処理するプラズマ処理装置において、所望の波長を有し、所望の周波数で強度変調した光を上記処理室内に照射する照射光学系と、上記処理室から得られる散乱光を上記所望の波長成分で分離して受光して信号に変

換する散乱光検出光学系と、該散乱光検出光学系から得られる信号から上記強度変調した所望の周波数成分を抽出することによってプラズマ中若しくはその近傍に浮遊した異物を示す信号を上記プラズマによるものから分離して検出する異物信号抽出手段とを備えたプラズマ浮遊異物計測装置を設けることが開示されている。

【 0 0 1 4 】

また、上記従来技術 8 には、処理室内にプラズマを発生させ、該プラズマによって被処理対象物に対して処理するプラズマ処理装置において、互いに異なる波長を有し、所望の周波数で強度変調した複数のビームを上記処理室内に照射する照射光学系と、その散乱光を互いに異なる波長成分で分離して受光して複数の信号に変換する散乱光検出光学系と、該散乱光検出光学系から得られる複数の信号から上記強度変調した所望の周波数成分を抽出することによってプラズマ中若しくはその近傍に浮遊した異物を示す複数の信号を上記プラズマによるものから分離して検出する異物信号抽出手段とを備えたプラズマ浮遊異物計測装置を設けることが開示されている。

【 0 0 1 5 】

【発明が解決しようとする課題】

上記した従来技術 1 ～ 6 は、プラズマ処理室の側面に設けられた観測用窓からレーザ光を照射し、対向した側面あるいはその他の側面に設けられた上記レーザ照射用観測窓とは異なる観測用窓から、レーザ前方散乱光や側方散乱光を検出するものである。したがって、これらの前方散乱光や側方散乱光を検出する方式では、照射光学系と検出光学系とが各々異なるユニットで形成され、これらを取り付ける観測用窓も 2 つ必要であり、また、光軸調整等も、照射・検出光学系で各々行わなければならない、取り扱いが面倒なものとなっていた。

【 0 0 1 6 】

また、通常、プラズマ処理室などの処理室の側面の観測用窓は、プラズマ発光などをモニタするためにほとんどの機種に設けられているが、この観測窓は 1 つのみしか備え付けられていない場合も少なくない。従って、観測用窓を 2 つ必要とする従来手法は、観測用窓を 1 つしか備えていない処理室をもつ製造装置には

、適用することができないという課題がある。

【 0 0 1 7 】

さらに、前方散乱光や側方散乱光を検出する従来方式においては、プラズマ処理室へ照射する照射ビームを回転走査させて、ウェハ等の被処理基板の全面上の異物発生状況を観測しようとした場合には、多数の観測窓と検出光学系とを必要とし、大幅なコストアップ要因となる上、多数の観測窓や検出光学系を設けることも、スペースファクター上の制約から実際には非常に困難であると予想される。

【 0 0 1 8 】

一方、256Mbit DRAM、さらには1Gbit DRAMへと高集積化が進む半導体の分野においては、回路パターンの最小線幅は0.25～0.18 μ mと微細化の一途を辿っており、検出すべき異物の大きさもサブミクロンオーダーが要求されている。しかし、従来技術1～6では、異物散乱光とプラズマ発光の分離が困難であるため、比較的大きな異物の観測に適用が限定され、サブミクロンオーダーの微小異物を検出することは困難であると考えられる。

【 0 0 1 9 】

また、従来技術7、8には、プラズマ中若しくはその近傍に浮遊した異物を検出することについては記載されているが、プラズマ処理室の内壁に付着若しくは堆積する汚染状態を検出することについては考慮されていなかった。

【 0 0 2 0 】

本発明の第1の目的は、上記課題を解決すべく、エッチング、スパッタ、CVDなどのプラズマ処理装置におけるプラズマ処理室の内壁の汚染状況を検出できるようにして被処理基板上に異物が多く発生するのを予測して早期に清掃等の対策を施して多量の不良の発生を防止できる半導体の製造方法並びにプラズマ処理方法およびその装置を提供することにある。

【 0 0 2 1 】

また、本発明の第2の目的は、プラズマ処理室の内壁の汚染状況を検出でき、しかもプラズマ処理室内に浮遊した異物の検出をもできるようにして、被処理基板上に異物が多く発生するのを防止する対策を早めに施して多量の不良の発生を

防止できる半導体の製造方法並びにプラズマ処理方法およびその装置を提供することにある。

【 0 0 2 2 】

また、本発明の第 3 の目的は、内壁の汚染状態や浮遊した異物を検出する照射・検出光学系をコンパクトにして限られた狭いスペースに取り付けができるようにしたプラズマ処理方法およびその装置を提供することになる。

【 0 0 2 3 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は、処理室内にプラズマを発生させ、該発生したプラズマによって半導体基板に対して処理して半導体を製造する半導体の製造方法並びにプラズマ処理方法およびその装置において、光ビームを観察窓を通して前記処理室内に照射する照射ステップと、該照射ステップにより前記処理室の内壁からの凹凸状態の変化（反応生成物の堆積やダメージ等）に伴って変化が生じる反射光像を観察窓を通して結像光学系で結像させて検出器で受光して受光信号として検出する検出ステップと、該検出ステップによって検出された受光信号の変化を基にして算出される前記処理室の内壁の汚染状況を基に前記半導体基板に対するプラズマ処理を制御する制御ステップとを有することを特徴とする。

【 0 0 2 4 】

また、本発明は、処理室内にプラズマを発生させ、該発生したプラズマによって半導体基板に対して処理して半導体を製造する半導体の製造方法並びにプラズマ処理方法およびその装置において、所望の周波数で強度変調したビームを観察窓を通して前記処理室内に照射する照射ステップと、該照射ステップにより照射された前記処理室の内壁からの凹凸状態の変化に伴って変化が生じる反射光像を観察窓を通して結像光学系で結像させて検出器で受光して受光信号として検出し、該検出された受光信号の中から前記強度変調周波数成分を抽出することによって処理室の内壁の凹凸状態の変化を示す信号をプラズマによるものから分離して検出する検出ステップと、該検出ステップにより検出された信号の変化を基にして算出される前記処理室の内壁の汚染状況を基に前記半導体基板に対するプラズ

マ処理を制御する制御ステップとを有することを特徴とする。

【 0 0 2 5 】

また、本発明は、前記検出ステップにおいて、前記結像光学系で結像させて検出器で受光する光像がスペックルパターン像であることを特徴とする。

また、本発明は、前記検出ステップにおいて、前記反射光像を観察窓を通して結像光学系で結像させて検出器で受光する際、前記処理室内のプラズマから発生する光をフィルタで遮光することを特徴とする。

また、本発明は、前記照射ステップにおいて、前記ビームを処理室内に照射する際、前記処理室の内壁の複数個所に照射できるように前記ビームを走査することを特徴とする。

【 0 0 2 6 】

また、本発明は、前記照射ステップにおける前記ビームを照射する観察窓と前記検出ステップにおける前記反射光像を通す観察窓とが同一であることを特徴とする。

また、本発明は、前記検出ステップにおいて、前記結像光学系の結像位置に設置された絞りによって制限された光像を検出器で受光することを特徴とする。

【 0 0 2 7 】

また、本発明は、処理室内にプラズマを発生させ、該発生したプラズマによって半導体基板に対して処理して半導体を製造する半導体の製造方法並びにプラズマ処理方法およびその装置において、所望の周波数で強度変調したビームを観察窓を通して前記処理室内に照射する照射ステップと、該照射ステップにより前記処理室の内部からの観察窓を通して得られる反射光像を分岐光学系で分岐し、該分岐された一方の反射光像を第 1 の結像光学系で結像させて第 1 の検出器で受光して第 1 の受光信号に変換し、該変換された第 1 の受光信号の中から前記強度変調周波数成分を抽出することによってプラズマ中若しくはその近傍に浮遊した異物を示す第 1 の信号をプラズマによるものから分離して検出し、前記分岐された他方の反射光像を第 2 の結像光学系で結像させて第 2 の検出器で受光して第 2 の受光信号として検出し、該検出された第 2 の受光信号の中から前記強度変調周波数成分を抽出することによって処理室の内壁の凹凸状態の変化を示す第 2 の信号

をプラズマによるものから分離して検出する検出ステップと、該検出ステップで検出された第 1 の信号を基にして算出されるプラズマ中若しくはその近傍に浮遊する異物の発生状況または前記検出ステップで検出された第 2 の信号の変化を基にして算出される前記処理室の内壁の汚染状況を基に前記半導体基板に対するプラズマ処理を制御する制御ステップとを有することを特徴とする。

また、本発明は、前記第 2 の結像光学系の結像位置に絞りを設置して異物やプラズマからの光を制限して減少させることを特徴とする。

また、本発明は、前記第 1 の結像光学系の結像位置に空間フィルタを設置して処理室の内壁からの散乱反射光を遮光することを特徴とする。

【 0 0 2 8 】

また、本発明は、処理室の内壁の汚染状況の判定を、処理室内壁への反応生成物の付着及び／又はプラズマによるダメージによる処理室内壁の表面状態（凹凸状態）に関連して、予め実験的に得られた信号と前記受光信号とを比較判定することにより行うことを特徴とする。

また、本発明は、処理室の内壁の汚染状況の判定と同時に、処理室内壁に付着した反応生成物の膜厚に関連して、予め実験的に得られた信号と付着膜厚の関係から、該付着した反応生成物の膜厚を求めることを特徴とする。

また、本発明は、処理室の内壁の汚染状況と浮遊異物については、個数、大きさ、分布とを判別してディスプレイ上に表示することを特徴とする。

【 0 0 2 9 】

以上説明したように、本発明によれば、処理室の内壁の汚染状況を常に把握できることによって、早期に浮遊異物が多く発生するのを予測して、被処理基板へのプラズマ処理の制御をする（被処理基板の投入を中止してクリーニングを実行するなど、また、プロセス処理の条件を監視するなど様々な対策を施す）ことによって、多量に不良が発生のを防止して、歩留まりを著しく向上させることができる。

【 0 0 3 0 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る実施の形態を、図 1 ～図 1 5 を用いて説明する。

【 0 0 3 1 】

なお、以下に述べる本発明の各実施形態では、プラズマドライエッチング装置に利用されている、平行平板形プラズマエッチング装置への適用例を示すが、本発明の適用範囲はこれに限定されるものではなく、本発明は、スパッタ装置やCVD装置などの薄膜生成（成膜）装置、あるいは、ECRエッチング装置やマイクロ波エッチング装置、またはアッシング装置などの各種薄膜生成、加工装置への適用が可能である。

【 0 0 3 2 】

まず、本発明に係る第1の実施の形態を、図1～図13を用いて説明する。図1は、本第1の実施の形態に係る、処理室内壁汚染状況モニタリング機能付きプラズマ中浮遊異物計測装置をもつプラズマエッチング処理装置の構成を示す図である。即ち、本発明に係る第1の実施の形態は、エッチングやアッシングなどの各種処理装置に、処理室内壁の汚染状況をモニタリングできる計測装置を備えることにある。

【 0 0 3 3 】

図1に示すように、エッチング処理装置では、シグナルジェネレータ83からの高周波信号によりパワーアンプ84の出力電圧を変調し、この高周波電圧を分配器85によって分配して、プラズマ処理室86内において互いに平行に配置した上部電極81と下部電極82の間に印加して、両電極間での放電によりエッチング用ガスからプラズマ71を発生させ、その活性種で被処理体としての半導体基板（ウェハ）Wをエッチングする。高周波信号としては、例えば400kHzが用いられる。

【 0 0 3 4 】

処理室内壁汚染状況モニタリング機能付きプラズマ中浮遊異物計測装置2は、主としてレーザ照明光学系2000と、散乱光検出光学系2001と、制御・信号処理系6000とにより構成され、レーザ照明光学系2000と散乱光検出光学系2001における照明光出口部・検出光入口部は、プラズマ処理室86の側面に設けられた観測用窓10に対向するように配置されている。

【 0 0 3 5 】

レーザ照明光学系 2 0 0 0 では、まず、レーザ光源（例えば、波長 5 3 2 n m）1 2 から出射された S 偏光ビーム 1 0 1 を A O（A c o u s t o - O p t i c a l）変調器 1 4 に入射する。A O 偏光器 1 4 には、計算機 4 2 からの制御信号に基づき、発振器 1 3 から出力された例えば周波数 1 7 0 k H z、好ましくはデューティ 5 0 % の矩形波信号を印加して、S 偏光ビームを上記周波数で強度変調する。ここで、エッチング処理装置の電極に印加する高周波電圧を 4 0 0 k H z とした本実施形態では、レーザ強度変調周波数は、4 0 0 k H z およびその整数倍の高調波成分 8 0 0 k H z、1. 2 M H z、…とは異なる上記周波数 1 7 0 k H z などが良い。理由については後で述べる。

【 0 0 3 6 】

強度変調された S 偏光ビーム 1 0 2 は、フォーカシングレンズ 1 8 により、ウェハ（被対象基板）W の中心近傍に集光させ、偏光ビームスプリッタ 2 4 により低損失で反射され、1 / 4 などの波長板 2 6 により円若しくは楕円偏光ビーム 1 0 3 に変換した後、ガルバノミラー 2 5 により反射され、プラズマ処理室 8 6 の側面に設けられた観測用窓 1 0 を通して処理室内へと導かれる。ここで、ガルバノミラー 2 5 を回転させ、円若しくは楕円偏光ビーム 1 0 3 をウェハ W の面に平行な面内で走査することにより、ウェハ直上全面での照射（異物検出）が可能となる。

ここで、1 / 4 などの波長板 2 6 を設けたのは、後述するように、処理室の内壁 5 からの散乱反射光を偏光ビームスプリッタ 2 4 を透過させ、処理室反射光検出用光ファイバ 3 3 b で受光できるようにしたためである。

【 0 0 3 7 】

なお、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 の汚染状況をモニタリングする場合には、プラズマ処理室 8 6 の特定個所のみモニタリングできればよいので、必ずしも円若しくは楕円偏光ビーム 1 0 3 を、ウェハ W の面に平行な面内で走査する必要はない。しかし、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 の汚染状態も、ウェハ W 上に浮遊する異物 7 2 も同時に検出しようとする、円若しくは楕円偏光ビーム 1 0 3 をウェハ W の面に平行な面内で走査することが望ましい。

【 0 0 3 8 】

そして、上記観測用窓 1 0 の入射面を側壁と平行に形成してある場合、上記観測用窓 1 0 からの正反射光は、ガルバノミラー 2 5 で反射し、1 / 4 などの波長板 2 6 を再び通過することで P 偏光となり、偏光ビームスプリッタ 2 4 を透過し、散乱光検出光学系 2 0 0 1 で検出され、大きな雑音となる。そこで、上記観測用窓 1 0 の入射面を傾斜面で形成することにより、この面での反射光は、検出光軸からずれて、散乱光検出光学系 2 0 0 1 には入射しないようにして、上記観測窓 1 0 からの反射光による雑音を防いでいる。

【 0 0 3 9 】

次に、異物散乱光の検出方法について説明する。プラズマ処理室 8 6 内へ導かれた円偏光ビーム 1 0 3 は、プラズマ中の浮遊異物 7 2 により散乱される。該異物散乱光のうち照射円偏光ビーム 1 0 3 と同じ光軸を反対方向に伝搬する後方散乱光は、観測用窓 1 0 を通過してガルバノミラー 2 5 により反射され、偏光ビームスプリッタ 2 4 へと向かう。該後方散乱光のうち、正反射成分に相当する円偏光成分は、1 / 4 などの波長板 2 6 を再び通過することで P 偏光ビーム 1 0 4 となり、偏光ビームスプリッタ 2 4 を低損失で透過し、ビームスプリッタ（分岐光学系）2 7 に向かう。上記 P 偏光ビーム 1 0 4 の大半はビームスプリッタ（分岐光学系）2 7 を透過して結像レンズ 3 1 a により異物散乱光検出用光ファイバ 3 3 a の入射面に集光される。

【 0 0 4 0 】

図 2 に示すように、ウェハ W の中央位置 7 3 b と検出用光ファイバ 3 3 a の入射面とが結像関係になっているが、入射端面の（受光領域）は、デフォーカスしたウェハ両端 7 3 a、7 3 c からの散乱光も検出可能な大きさとなっている。従って、ウェハ手前から奥までの異物後方散乱光を、検出用光ファイバ 3 3 a によりほぼ同じ感度で検出できる。大きな受光面を確保するために、バンドルファイバやリキッドライトガイドを利用する方法が有効である。処理室内壁 5 で生じる散乱光は、異物散乱光検出用光ファイバ 3 3 a の受光面の手前（空間フィルタ 3 6 の位置）で結像するため、該結像位置に空間フィルタ 3 6 を設置することによって処理室の内壁 5 で生じる散乱光を遮光する。異物散乱光検出用光ファイバ 3 3 a の出射端は、レーザ光源 1 2 の波長に設定されたモノクロメータや干渉フィ

ルタなどの分光器 3 4 a に接続され、該分光器 3 4 a によりプラズマ発光から異物散乱光の波長成分のみを波長分離した後、フォトダイオードや光電子増倍管などの光電変換素子 3 5 a で光電変換される。光電変換された検出信号は、アンプ 5 0 a で増幅された後、ロックインアンプ 5 1 a により、レーザ光の強度変調に用いた発振器 1 3 から出力された周波数 1 7 0 k H z、デューティ 5 0 % の矩形波信号を参照信号として同期検波され、上記検出信号から周波数 1 7 0 k H z の異物散乱光成分を抽出する。

【 0 0 4 1 】

図 3 に示すように、プラズマ発光の強度はプラズマ励起用の高周波電力の変調周波数に同期していることを、本願発明者らは実験によって検証しており、例えば、上記 4 0 0 k H z のプラズマ励起周波数の高周波電力により発生したプラズマの発光から、分光器 3 4 により波長分離し、プラズマ励起周波数およびその整数倍と異なる上記周波数 1 7 0 k H z で変調・同期検波して得た異物信号は、図 4 に示すように、プラズマ発光から、波長・周波数 2 つの領域で分離され、検出される。この方法により、プラズマ発光から微弱な異物散乱光を感度良く検出できることを、本願発明者らは実験的に確認している。即ち、図 4 に示すように、プラズマ発光は、波長領域においては連続的に分布しているが、周波数領域においては、離散的に存在し、周波数領域において空き領域がある。従って、例えば波長 5 3 2 n m のレーザ光を、上記プラズマ発光の周波数とは異なる、例えば周波数 1 7 0 k H z で強度変調してプラズマ処理室 8 6 内に入射し、検出光の中から波長 5 3 2 n m 成分、周波数 1 7 0 k H z 成分、すなわちピーク信号のみを取り出せば、異物からの散乱光をプラズマ発光から分離して検出することが可能なる。

【 0 0 4 2 】

このように、異物散乱光検出用光ファイバ 3 3 a の受光面の手前の結像位置に、空間フィルタ 3 6 を設置することによって、処理室内壁 5 で生じる散乱光を遮光してウェハ W 上の浮遊異物からの散乱光を異物散乱光検出用光ファイバ 3 3 a に入射せしめることが可能となる。更に、プラズマ処理室 8 6 に入射するレーザ光の波長および強度変調周波数を、プラズマ発光の波長および周波数と異ならし

めることによって、浮遊異物からの散乱光を、プラズマ発光から分離して検出することが可能となる。

【 0 0 4 3 】

そして、ロックインアンプ 5 1 a の出力は計算機 4 2 に送られる。計算機 4 2 では、ガルバノドライバ 2 9 を介して走査信号をガルバノミラー 2 5 に送り、ビームを走査しつつ各走査位置で取り込んだ異物信号を、例えば、図 5 に示すような形で逐一ディスプレイ 4 1 上に表示する。図 6 に示すように、計算機 4 2 は、各検出位置において、 n 回目の走査時の出力と $(n - 1)$ 回目の走査時の出力の差分をとり、ある値以上の変化のみをディスプレイ 4 1 上に表示すると、異物信号の判定が容易となる。該表示例では、 $\phi 200\text{ mm}$ のウェハ上の照射光 5 ラインでの計測結果が示されている。プラズマ中の浮遊異物により散乱光が発生した場合には、上記図 6 において 5 箇所を示した様な、パルス上の大きな信号 8 1 a , 8 1 b , 8 1 c , 8 1 d および 8 1 e が現れる。計算機 4 2 では、予め実験により得られた粒径に対する信号強度と検出された異物信号強度とを比較して異物の大きさを、また、上記パルス状の信号の数から異物個数を、また、信号が検出された時の走査位置から異物の発生位置を判定する。更に、計算機 6 1 では、判定した異物の個数及び大きさなどから処理室内の汚染状況を判断し、異物発生総数が予め設定した基準値を超えたときはエッチング処理を終了する、汚染状況をアラームなどでプラズマ処理装置操作者に知らせる等の情報を出力することができる。

【 0 0 4 4 】

次に、処理室内壁散乱光の検出方法について説明する。プラズマ処理室 8 6 内へ導かれた円若しくは楕円偏光ビーム 1 0 3 は、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 に当たる。このとき、該プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 の表面の状態により、反射や散乱の様子が異なる。図 7 は、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 の表面の状態が、凹凸の少ない平坦な状態である場合を示している。プラズマ処理室内壁 5 の表面の状態が凹凸の少ない平坦な状態（洗浄若しくは清掃した直後の反応生成物の付着やプラズマダメージが少なく汚染されていない状態）である場合、該プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 に当たった円若しくは楕円偏光ビーム 1 0 3 の大半は反射する

。従って、ガルバノミラー 2 5 を回転させることによってビームをウェハ面に平行な面内で走査した場合において、ビーム走査位置がウェハ中心にある場合、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 での反射光の大半が観測用窓 1 0 を通過してガルバノミラー 2 5 により反射され、偏光ビームスプリッタ 2 4 へと向かうことになる。プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 での反射光（散乱光）の大半は、正反射成分に相当する円偏光成分であるため、 $1/4$ などの波長板 2 6 を再び通過することで P 偏光ビーム 1 0 5 となり、偏光ビームスプリッタ 2 4 を低損失で透過し、ビームスプリッタ（分岐光学系）2 7 に向かう。上記 P 偏光ビーム 1 0 5 の一部はビームスプリッタ 2 7 で反射して、結像レンズ 3 1 b により処理室反射光検出用光ファイバ 3 3 b の入射面（ピンホール 3 9 の位置）に集光される。処理室反射光検出用光ファイバ 3 3 b の手前における、レンズ 3 1 b によってプラズマ処理室 8 6 の内壁 5 とほぼ結像関係にある位置には、ピンホール（絞り）3 9 が設けられているため、該ピンホール 3 9 を通過するのは、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 からの反射光（散乱光）のみと発光強度の強いプラズマ発光の一部となる。その結果、処理室反射光検出用光ファイバ 3 3 b は、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 からの反射光（散乱光）のみと発光強度の強いプラズマ発光の一部を検出することになる。このように、処理室反射光検出用光ファイバ 3 3 b には、発光強度の強いプラズマ発光の一部が入射されるため、次に説明するように、プラズマ発光の一部によって生じる信号を消去する必要がある。

【 0 0 4 5 】

即ち、処理室反射光検出用光ファイバ 3 3 b の出射端は、レーザ光源 1 2 の波長に設定されたモノクロメータや干渉フィルタなどの分光器 3 4 b に接続されているため、該分光器 3 4 b によってプラズマ発光から内壁 5 からの反射光の波長成分のみを波長分離した後、フォトダイオードや光電子増倍管などの光電変換素子 3 5 b で光電変換される。光電変換された検出信号は、アンプ 5 0 b で増幅された後、ロックインアンプ 5 1 b により、レーザ光の強度変調に用いた発振器 1 3 から出力された周波数 1 7 0 k H z、デューティ 5 0 % の矩形波信号を参照信号として同期検波され、上記検出信号から周波数 1 7 0 k H z の内壁 5 からの反射光（散乱光）成分を抽出する。ロックインアンプ 5 1 b の出力は計算機 4 2 に

送られる。計算機 4 2 では、ガルバノドライバ 2 9 を介して走査信号をガルバノミラー 2 5 に送り、ビームを走査しつつ各走査位置で取り込んだ内壁 5 の汚染状態を示す信号を、例えば、図 1 3 に示すような形で逐一ディスプレイ 4 1 上に表示する。ここで、ビーム走査位置がウェハ中心からずれた場合には、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 からの反射光の伝搬光軸が照射ビーム光軸からずれる為、散乱光検出光学系 2 0 0 1 にはほとんど入射しないことになる。

【 0 0 4 6 】

以上説明した様に、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 の表面の状態が凹凸の少ない平坦な状態（洗浄若しくは清掃した直後の反応生成物の付着やプラズマダメージが少なく汚染されていない状態）である場合、一回のビーム走査で得られる検出信号の形状は、図 9 に示す様に、ウェハ中心で信号強度が大きく、ウェハ端で信号強度が小さい形状となる。

【 0 0 4 7 】

これに対し、プラズマ処理を進めるに従って、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 には、反応生成物が付着したり、プラズマによるダメージが発生して汚染されていって、内壁 5 の表面には凹凸が発生することになる。図 8 は、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 が汚染されていって表面に凹凸が発生した場合を示している。このように、内壁 5 が汚染されて凹凸が発生してくると、内壁 5 に当たった円若しくは楕円偏光ビーム 1 0 3 の大半は散乱することになる。従って、ガルバノミラー 2 5 を回転させて、ビーム 1 0 3 をウェハ面に平行な面内で走査した場合には、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 の表面に凹凸が増える（汚染が進む）に従って、正反射成分よりも散乱光成分が多くなり、その結果、順次図 9、図 1 0、図 1 1、図 1 2 に示す様にビーム走査位置による信号強度の違いが徐々に小さくなっていく。従って、予め、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 の汚染状態を示す堆積した反応生成物の厚さと、ロックインアンプ 5 1 b から抽出される検出位置に応じた反射（散乱）光信号のプロファイルの変化との関係を調べ、記憶装置 4 0 に入力して記憶しておけば、計算機 4 2 は、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 の汚染状況をモニタリングすることができることになる。

ところで、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 は通常円筒形を有しているため、図 7

に示すように汚染されていない場合には、ビーム 1 0 3 をウェハ中心からずらして照射した際、内壁 5 からの反射光の伝搬光軸が照射ビーム光軸からずれて、散乱光検出光学系 2 0 0 1 にはほとんど入射しないことになる。

【 0 0 4 8 】

一方、図 8 に示すように汚染が進んでいった場合には、ビーム 1 0 3 をウェハ中心からずらして照射した際、内壁 5 からより多くの散乱光が発生して、散乱光検出光学系 2 0 0 1 に入射して検出されることになる。

そこで、ガルバノミラー 2 5 の回転角を検出してビーム 1 0 3 のウェハ中心からのずれ量（検出位置）を設定しておけば、予め、その設定位置における内壁 5 の汚染状態を示す堆積した反応生成物の厚さと、ロックインアンプ 5 1 b から抽出される上記設定位置における反射（散乱）光信号の強度の変化との関係を調べ、記憶装置 4 0 に入力して記憶しておけば、計算機 4 2 は、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 の汚染状況をモニタリングすることができることになる。

他方、上記プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 からの反射光（散乱光）の内、ビームスプリッタ 2 7 を透過する透過光は、空間フィルタ 3 6 により遮光されるため、異物散乱光検出用ファイバ 3 3 a には入射しないことになる。

【 0 0 4 9 】

以上説明したように、本第 1 の実施の形態によれば、上記変調・同期検波方式により、波長及び周波数 2 つの領域において、内壁 5 の汚染状態である凹凸の変化を示す散乱光の強度変化を特にプラズマ発光から分離して検出することが可能であり、内壁の汚染状態を高感度で検出することができ、その結果に基づいて、洗浄もしくは清掃等の対策を施すことによって、付着した反応生成物の剥がれ等によって生じるプラズマ中浮遊異物の発生を抑制することができる。当然、内壁 5 の汚染状態である凹凸の変化を示す散乱光の強度変化を浮遊異物からも分離して検出することが可能である。

【 0 0 5 0 】

また、本第 1 の実施の形態によれば、上記変調・同期検波方式により、波長及び周波数 2 つの領域において、微弱な異物散乱光を、プラズマ中異物検出で問題となるプラズマ発光から分離して検出することが可能であり、従来の波長分離の

みの方法に比べてプラズマ中浮遊異物の検出感度が大幅に向上するという効果が得られ、従来の波長分離のみの場合に得られる最小検出感度は、せいぜい $\phi 1 \mu\text{m}$ 程度が限界であったのに対し、本実施の形態の方法によれば、最小検出感度を $\phi 0.2 \mu\text{m}$ 程度にまで向上でき、ウェハ全面にわたり安定な異物検出が可能になるという効果も得られる。さらに、ウェハ上全面で異物検出を行って、異物の個数、大きさ、分布を判定するので、操作者は、その情報を、例えば、ディスプレイ 41 上でリアルタイムで確認することもできる。

【 0 0 5 1 】

また、本第 1 の実施の形態によれば、プラズマを発光させた状態で、処理室内壁の汚染状態をモニタリングできるため、早期に洗浄や清掃等の対策を施して突発的多量浮遊異物の発生を抑制して歩留まりを向上させることが可能となる。

また、本第 1 の実施の形態によれば、プラズマを発光させた状態で、検出される浮遊異物の発生個数、大きさ、分布の情報をもとに、処理室内の汚染状況をリアルタイムで判断できるため、例えば、クリーニング時期の最適化による装置稼働率の向上、突発的大量異物の発生の早期発見ができ、歩留まりが向上する。

【 0 0 5 2 】

また、本第 1 の実施の形態によれば、処理室内の汚染状況を常にモニタしながら処理を進められるため、このようにして製造された半導体基板や液晶基板は、基準値以上の異物を含まない環境で製造された、高品質で、信頼性の高い製品となる。

また、本第 1 の実施の形態によれば、ダミーウェハを用いた処理室の汚染状況判断や、抜き取り検査による汚染状況判断の頻度低減が可能であるため、ダミーウェハのコスト削減がなされる。

【 0 0 5 3 】

次に、本発明に係る第 2 の実施の形態を、図 14 ～ 図 15 に基づいて説明する。図 14 は、本第 2 の実施の形態に係る、処理室内壁汚染状況モニタリング機能付きプラズマ中浮遊異物計測装置をもつエッチング処理装置の構成を示す図である。

【 0 0 5 4 】

処理室内壁汚染状況モニタリング機能付きプラズマ中浮遊異物計測装置は、主としてレーザ照明光学系 2 0 0 0 と散乱光検出光学系 2 0 0 2 と制御・信号処理系 6 0 0 1 とにより構成され、レーザ照明光学系 2 0 0 0 と散乱光検出光学系 2 0 0 2 における照明光出口部・検出光入口部は、プラズマ処理室 8 6 の側面に設けられた観測用窓 1 0 に対向するように配置されている。

【 0 0 5 5 】

本第 2 の実施の形態において、前記第 1 実施形態と異なる点は、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 からの反射（散乱）光の検出を CCD カメラ等の撮像素子 3 3 c で行い、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 の汚染状況の判定を、該 CCD カメラ等の撮像素子 3 3 c で得られた画像から判断する点である。すなわち、プラズマ処理室 8 6 の内壁 5 の表面の凹凸状態によって、発生するスペックルパターンが変化するため、該スペックルパターンを図 1 5 に示すように撮像素子 3 3 c で撮像し、該撮像された画像信号を基に検出されるスペックルパターンの変化から、内壁 5 の表面状態の微妙な変化を検出することができる。洗浄若しくは清掃した直後から反応生成物が付着したり、プラズマダメージが生じてきて汚染が進むと、内壁 5 の表面の状態が平坦な状態から凹凸状態が増大するように変化していき、スペックルパターンがない状態から増大していくことになる。そこで、内壁 5 の結像位置に受光面を設置した撮像素子 3 3 c で内壁 5 の表面から反射してくる画像を撮像し、該撮像された画像信号を計算機 4 2 で画像処理（例えば 2 次元方向に微分処理（ラプラシアンフィルタリング処理））することによってスペックルパターンの変化（例えばスペックルパターンの濃淡の変化）として内壁 5 の汚染状態を検出することができることになる。しかしながら、プラズマ発光の光については、撮像素子 3 3 c に入射されないように波長フィルタ等のフィルタ 4 5 でフィルタリングする（遮光する）ことが必要となる。

【 0 0 5 6 】

以上説明したように、本第 2 の実施の形態によれば、本第 1 の実施の形態と同様の効果を得られる他、プラズマ処理室の内壁 5 の表面の状態を画像として残すことが可能となる。

【 0 0 5 7 】

また、上記第 1 および第 2 の実施の形態において、特開平 1 1 - 2 5 1 2 5 2 号公報に示されているような側方散乱光検出光学系と併用することも可能である。

【 0 0 5 8 】

以上説明したように、処理室内壁の汚染状況の計測結果、および／またはプラズマ中若しくはその近傍に浮遊する異物の計測結果について診断ユニット（42 であってもよく、他の製造ライン管理装置でもよい）が診断して、処理室内壁や電極の側壁への反応生成物の付着を低減する制御手段（例えば処理室内壁や電極の側壁の温度を制御する手段や処理室内壁に沿って磁界を発生させる手段）37（図 1 及び図 14 に示す。）にフィードバックして該制御手段 37 を制御することによって、処理室内への反応生成物の付着を低減することができる。また、診断ユニットが、診断結果に基づいて被処理基板を製造ラインから排除することもでき、さらにクリーニング指示を出して被処理基板の投入を中止してクリーニングを実行してもよい。

【 0 0 5 9 】

また、本発明の実施の形態によれば、プラズマ中浮遊異物の最小検出感度を $\phi 0.2 \mu m$ 程度にまで向上でき、ウェハ全面にわたり安定な異物検出が可能になり、しかも異物の発生個数、大きさ、分布の情報をもとに、処理室内の汚染状況をリアルタイムで判断できると同時に処理室内壁の汚染状況をモニタリングできるため、例えば、クリーニング時期の最適化による装置稼働率の向上、突発的大量異物の発生の早期発見ができ、歩留まりが向上する。また、処理室内の汚染状況を常にモニタしながら処理を進められるため、このようにして製造された半導体基板や液晶基板は、基準値以上の異物を含まない環境で製造された、高品質で、信頼性の高い製品となる。

【 0 0 6 0 】

また、本実施形態によれば、ダミーウェハを用いた処理室内の汚染状況判断や、抜き取り検査による汚染状況判断の頻度低減が可能であるため、ダミーウェハのコスト削減がなされる。

【 0 0 6 1 】

これらの効果により、エッチング処理室内の汚染状況のリアルタイムモニタリングが可能となり、付着異物のよる不良ウェハの発生を低減でき、高品質の半導体素子の製造が可能になるという効果と、装置クリーニング時期を正確に把握することができるという効果が生まれる。

【 0 0 6 2 】

また、ダミーウェハを用いた異物の先行作業チェック作業の頻度が低減できるため、コストの低減と生産性の向上という効果が生まれる。また、製造ラインの自動化も可能となるという効果も有している。

【 0 0 6 3 】

次に、本発明の第 3 の実施の形態を、図 1 6、図 1 7 及び図 1 8 に基づいて説明する。先ず、図 1 6 及び図 1 7 を用いて、本発明における半導体集積回路の製造方法の概念を説明する。

【 0 0 6 4 】

工程 1 0 0 a は、ウェハ W 上にシリコン酸化膜などの被加工膜 6 0 1 を形成する成膜工程であり、工程 1 0 0 b は、形成した膜の厚さを検査する膜厚計測工程である。工程 1 0 0 c は、ウェハ W にレジスト 6 0 2 を塗布する、レジスト塗布工程であり、工程 1 0 0 d は、マスクパターン 6 0 3 をウェハ上に転写するパターン転写工程である。工程 1 0 0 e は、被加工部のレジストを除去する、現像工程であり、工程 1 0 0 f は、レジストパターン 6 0 4 をマスクとして、レジスト除去部 6 0 5 の被加工膜 6 0 1 をエッチングし配線溝やコンタクトホール 6 0 6 を形成する、エッチング工程である。工程 1 0 0 h は、レジストパターン 6 0 4 を除去する、アッシング工程であり、工程 1 0 0 i は、ウェハ表面や裏面を洗浄する、洗浄工程である。上記一連の工程は、例えば、コンタクトホールの形成に適用される。

【 0 0 6 5 】

次に、図 1 8 を用いて、エッチング中に発生した異物がウェハに付着することで生じる欠陥について説明する。図 1 8 は、例えば、コンタクトホールエッチングにおいて発生する欠陥の例を示す図である。

異物 7 0 1 は、エッチングの最中にコンタクトホール開口部に付着した異物を

示している。この場合、付着異物によりエッチング反応停止するため、該異物付着部分のコンタクトホールは非開口となり、致命欠陥となる。

異物 7 0 2 は、エッチングの最中にコンタクトホール内部に付着した異物を示している。この場合も、付着異物によりエッチング反応停止するため、該異物付着部分のコンタクトホールは非開口となり、致命欠陥となる。

【 0 0 6 6 】

異物 7 0 3 および異物 7 0 4 は、エッチング終了後にコンタクトホール内部に付着した異物を示している。コンタクトホールのようなアスペクト比の高い箇所に付着した異物は、洗浄しても取り除くことが困難な場合が多く、異物 7 0 3 のように、その大きさが大きい場合には、コンタクト不良が生じるため致命欠陥となる。

異物 7 0 5 は、エッチングの最中にレジストパターン 6 0 4 に付着した異物を示している。この場合、該付着異物 7 0 5 によりエッチング反応は何ら影響を受けることはなく、該付着異物 7 0 5 により致命欠陥が発生することはない。

このように、異物が付着しても、異物の大きさが欠陥を引き起こすほど大きくない場合や、付着箇所が非エッチング領域であるような場合には致命欠陥とならず、ウェハに異物が付着してもその全てが致命欠陥を引き起こすわけではない。また、異物 7 0 1 や異物 7 0 5 が、洗浄により比較的除去しやすい異物であるのに対し、異物 6 0 2、異物 7 0 3 および異物 7 0 4 のように、高アスペクト比のコンタクトホールに落下した異物は、洗浄による除去が困難である。

【 0 0 6 7 】

さて、本発明では、エッチング工程 1 0 0 f において、プラズマ中浮遊異物計測装置 1 1 0 0 により、エッチング中に処理室内に発生した異物をリアルタイムで検出し、該異物検出結果に基づき、処理したウェハを次の工程に送り順次残りのウェハの処理を進めるか、次の工程に送る前に外観検査を行うか、処理を中止し処理室内のクリーニング（メンテナンス）を行うかを選択する。

【 0 0 6 8 】

ここでは、検出異物大きさおよび個数と予め設定した規格値（異物管理基準）とを比較することで、次に行う処理を選択した。

そこで、次に、本実施例における上記規格値（異物管理基準）の算出方法の例を説明する。既に説明したとおり、ウェハに異物が付着してもその全てが致命欠陥を引き起こすわけではない。付着異物により致命欠陥が発生する確率は、エッチングパターンの開口率やパターン密度、更には配線幅などと、付着する異物の大きさや個数の関係から、計算により求めることができる。したがって、エッチング処理中に検出される異物の大きさと個数と、ウェハ付着異物の大きさと個数の相関関係を、予め実験によって求めておくことで、エッチング中に検出した異物により致命欠陥を引き起こされる確率を求めることができる。

【 0 0 6 9 】

規格値（異物管理基準）は、上記手段により求めた値に基づいて設定する。以下に、本実施例における、規格値の設定例を示す。

規格値 1 は、検出異物のうちある大きさ以上の個数が該規定値 1 より少なければ、致命欠陥が発生する確率が非常に低くなるように（例えば、致命欠陥発生確率 1 % 程度以下）設定する。例えば、規格値 1 は、異物粒径 $0.4 \mu\text{m}$ 以上 10 個とする。

規格値 2 は、検出異物のうちある大きさ以上の個数が上記規格値 1 以上で該規定値 2 より少なければ、致命欠陥の発生が懸念される値となるように（例えば、致命欠陥発生確率 5 % 程度以下）設定する。例えば、規格値 2 は、異物粒径 $0.4 \mu\text{m}$ 以上 30 個とする。

検出異物のうちある大きさ以上の個数が該規定値 2 以上であると、致命欠陥が多数発生する（例えば、致命欠陥発生確率 5 % 程度以上）ことになる。

上記規格値に基づき、エッチング処理中に検出された異物のうちある大きさ以上の個数が上記規定値 1 より少ない場合には、致命欠陥の発生する確率が低いので、引き続き次のウェハの処理を行う。

【 0 0 7 0 】

エッチング処理中に検出された異物のうちある大きさ以上の個数が上記規定値 1 以上であるが、上記規定値 2 より少ない場合には、エッチング処理終了後、外観検査をう。該外観検査の結果、致命欠陥が確認されなければ、該ウェハは次のアッシング工程 1 0 0 7 に送る。該外観検査の結果、致命欠陥が確認された場

合は、該致命欠陥が救済可能な欠陥か判定する。上記判定結果に基づき、救済可能（救済回路の利用など）な欠陥と判定された場合は、該ウェハは次のアッシング工程 1 0 0 h に送る。上記判定結果に基づき、救済不可能な欠陥と判定された場合は、該欠陥個所を記録した後、該ウェハを次のアッシング工程 1 0 0 h に送る。その後、例えば、ダイシングにより各チップ毎にきり出した時に、該救済不可能な欠陥を含むチップは排除する。

【 0 0 7 1 】

エッチング処理中に検出された異物のうちある大きさ以上の個数が、上記規定値 2 より多い場合には、その後に処理を行うウェハにも、大量の致命欠陥が発生する可能性が高いので、エッチング処理を中断しプラズマ処理室内のクリーニング（メンテナンス）を行うよう、エッチング装置の操作者にモニタ画面上に表示したりアラームで知らせたりする。

【 0 0 7 2 】

プラズマ中浮遊異物計測装置を備えないエッチング処理装置では、必ずしも適切な時間で処理室のクリーニングが行われない。従って、本来クリーニングしなくても良い時期にクリーニングを行い、装置稼働率を低下させたり、逆にクリーニングすべき時期を過ぎているにもかかわらず処理を続け、不良品を大量に生じさせ歩留まりを低下させることもある。

また、処理室内異物チェックのためのダミーウェハによる先行作業を行い、その結果からクリーニング時期を決める方法もある。この場合、一連の工程中に余分な作業が入るため、スループットが低下し、ダミーウェハ分のコストが必要とされた。しかし、ウェハの大口径化に伴い、ダミーウェハのコストの増加は必至で、処理室内異物チェックのためのダミーウェハによる先行作業の削減も大きな問題になっている。

【 0 0 7 3 】

これに対し本実施の形態によれば、処理室内の汚染状況をリアルタイムでモニタしながら被処理体の処理を行えるため、クリーニング時期の最適化が図られ、ダミーウェハによる先行作業も必要ないため、スループットが向上し、ダミーウェハのコスト削減が可能となる。また、本実施の形態の工程により製造された製

品は、規定値以上の異物を含まない良質の製品、したがって信頼性の高い製品を製造することができる。

【 0 0 7 4 】

なお、以上の実施の形態においては、エッチング処理装置への適用例について述べたが、先にも記載したように、本発明の適用範囲はこれに限定されるものではなく、例えば、本発明をアッシング装置や成膜装置に適用することで、アッシング装置内および成膜装置内の異物のリアルタイムモニタリングが可能となり、以って、ホトリソグラフィ工程中のアッシング工程および成膜工程起因の不良を低減することが可能となり、不良品の発生防止と歩留まりの向上とを図ることができる。

【 0 0 7 5 】

【発明の効果】

本発明によれば、プラズマ処理室内壁の汚染状況をモニタリングすることができるため、事前に対策が施されて多量に異物が発生するのを防止して、歩留まり向上を図れると共に高品質の半導体素子の製造が可能になり、しかも装置クリーニング時期を正確に把握することができる効果が得られる。

また、本発明によれば、構成を簡単にして、プラズマ処理室内壁の汚染状況のモニタリングとプラズマ中浮遊異物のモニタリングとを行うことができる効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施の形態に係る、処理室内壁汚染状況モニタリング機能付きプラズマ中浮遊異物計測装置をもつエッチング処理装置の構成を示す図である。

【図 2】

本発明の第 1 の実施の形態における、異物散乱光及び処理室内壁反射（散乱）光検出のための光学系を単純化した説明図である。

【図 3】

プラズマ励起周波数とプラズマ発光が同期している様子を示す説明図である。

【図 4】

異物散乱光のプラズマ発光からの波長・周波数分離の様子を示す説明図である。

【図 5】

本発明の第 1 の実施の形態における、ウェハ上 5 点での検出光強度の時間変化を示す図である。

【図 6】

本発明の第 1 の実施の形態における、ウェハ上 5 点での異物信号強度の時間変化を示す図である。

【図 7】

本発明の第 1 の実施の形態における、処理室内壁での照射レーザ光の反射の様子を示す図である。

【図 8】

本発明の第 1 の実施の形態における、処理室内壁での照射レーザ光の散乱の様子を示す図である。

【図 9】

本発明の第 1 の実施の形態における、処理室内壁反射（散乱）光信号強度のプロファイルを示す図である。

【図 1 0】

本発明の第 1 の実施の形態における、処理室内壁反射（散乱）光信号強度のプロファイルを示す図である。

【図 1 1】

本発明の第 1 の実施の形態における、処理室内壁反射（散乱）光信号強度のプロファイルを示す図である。

【図 1 2】

本発明の第 1 の実施の形態における、処理室内壁反射（散乱）光信号強度のプロファイルを示す図である。

【図 1 3】

本発明の第 1 の実施の形態における、処理室内壁反射（散乱）光信号強度のプロファイルの時間変化を示す図である。

【図 1 4】

本発明の第 2 の実施の形態に係る、処理室内壁汚染状況モニタリング機能付きプラズマ中浮遊異物計測装置をもつエッチング処理装置の構成を示す図である。

【図 1 5】

本発明の第 2 の実施の形態に係る、処理室内壁反射（散乱）光画像を示す図である。

【図 1 6】

本発明の第 3 の実施の形態に係る、プラズマ中浮遊異物計測装置付きエッチング処理装置を導入した、半導体集積回路装置の製造工程を、処理の流れに沿って模式的に示した説明図である。

【図 1 7】

本発明の第 3 の実施の形態に係る、コンタクトホール形成過程を、断面構造を用いて、処理の流れに沿って模式的に示した説明図である。

【図 1 8】

本発明の第 3 の実施の形態に係る、コンタクトホールのエッチング工程において、付着異物による生じる欠陥の例を、模式的に示した説明図である。

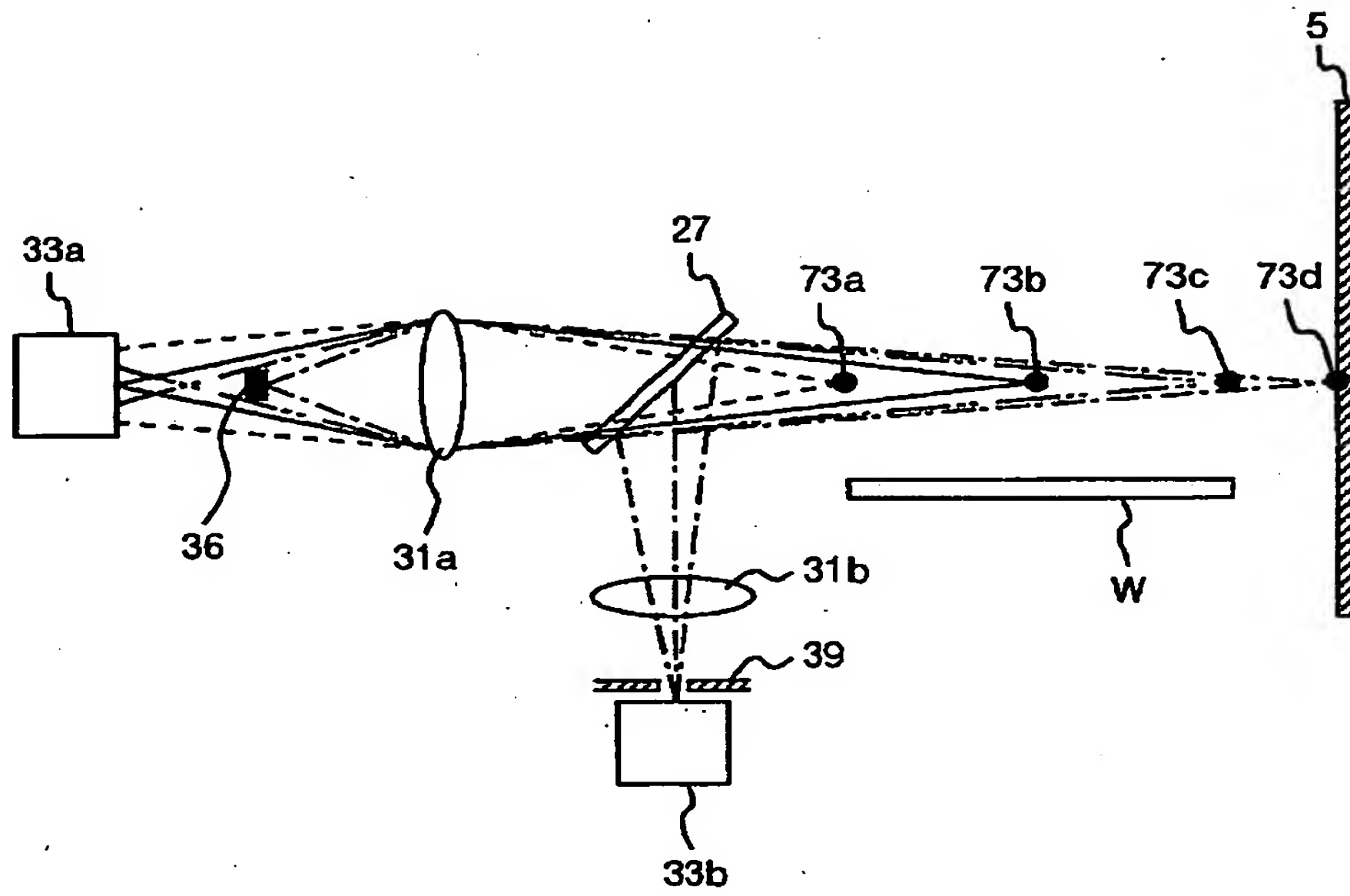
【符号の説明】

5 … 内壁、10 … 観測用窓、12 … レーザ光源、13 … 発振器、14 … AO 変調器、18 … フォーカシングレンズ、24 … 偏光ビームスプリッタ、26 … $1/4$ などの波長板、27 … ビームスプリッタ（分岐光学系）、29 … ガルバノドライバ、31a、32b … 結像レンズ、33a … 異物散乱光検出用光ファイバ、33b … 処理室反射光検出用光ファイバ、33c … 撮像素子（CCD カメラ）、34a、34b … 分光器、35a、35b … 光電変換素子、36 … 空間フィルタ、39 … 絞り（ピンホール）、40 … 記憶装置、41 … ディスプレイ、42 … 計算機、45 … フィルタ、50a、50b … アンプ、51a、51b … ロックインアンプ、83 … シグナルジェネレータ、84 … パワーアンプ、85 … 分配器、86 … プラズマ処理室、81 … 上部電極、82 … 下部電極、71 … プラズマ、W … 半導体基板（被処理基板）、100a … 成膜工程、100b … 膜厚計測工程、100c … レジスト塗布工程、100d … パターン転写工程、100e … 現像工程、

1 0 0 f …エッチング工程、1 0 0 g …異物判定部、1 0 0 h …アッシング工程、
1 0 0 i …洗浄工程、2 0 0 0 …レーザ照明光学系、2 0 0 1 …散乱光検出光学系、
6 0 0 0 …制御・信号処理系。

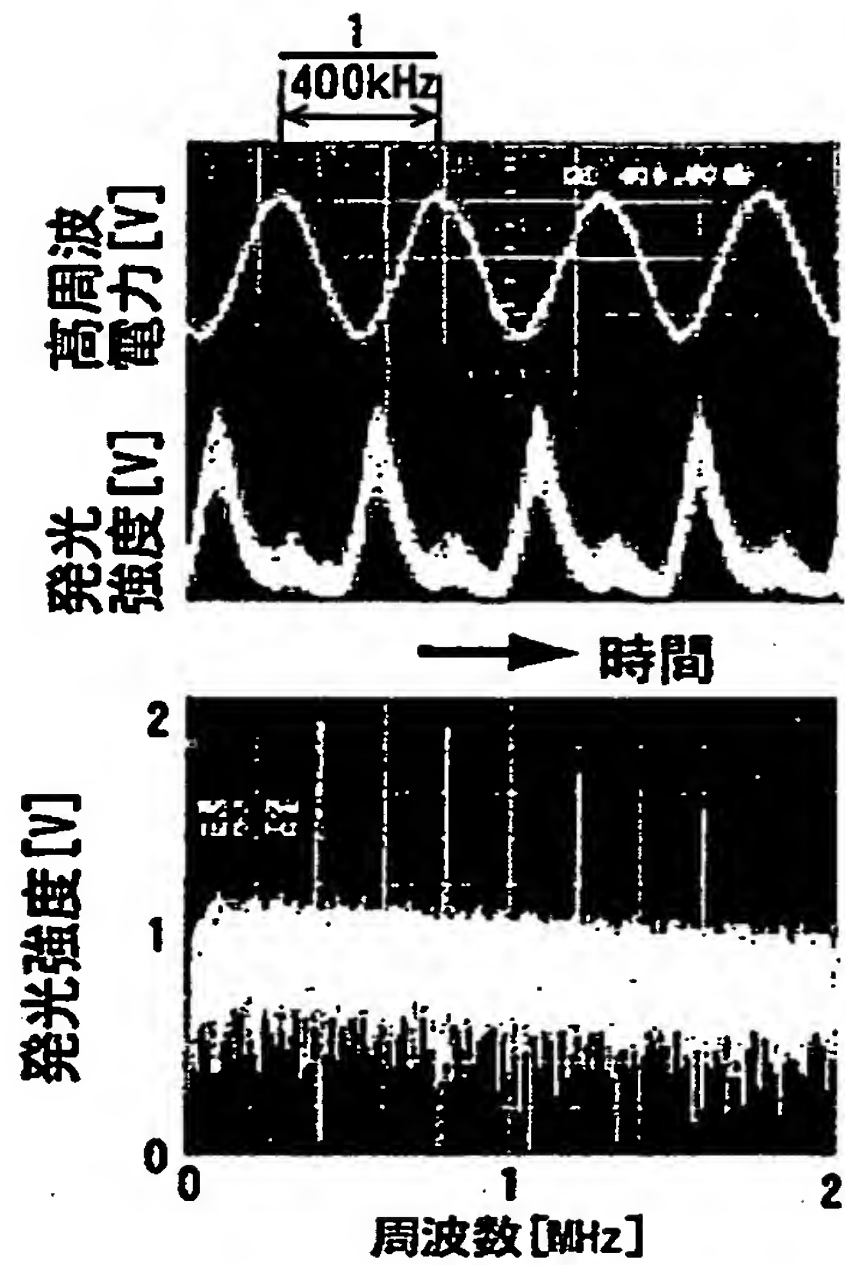
【図2】

図 2



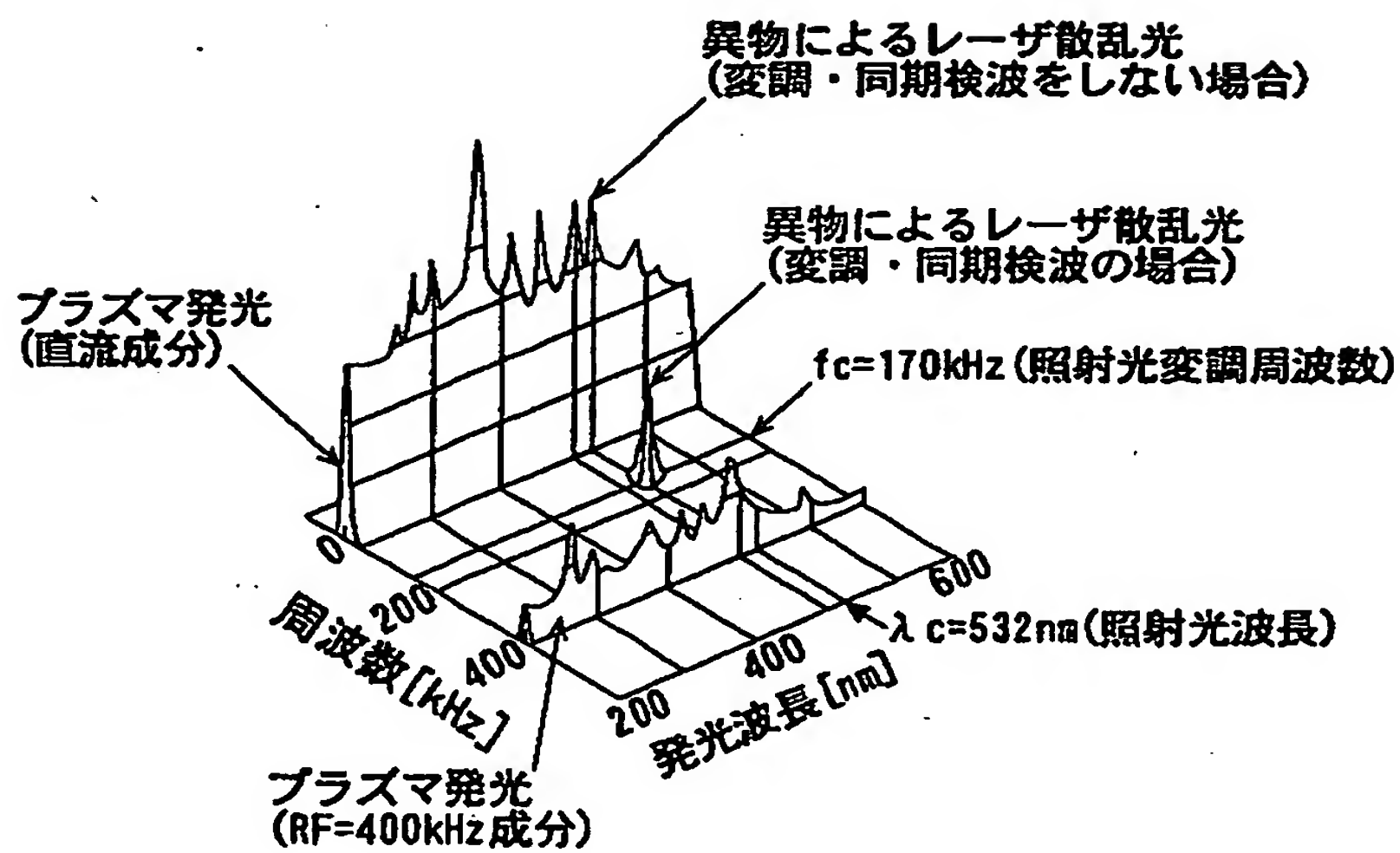
【図 3】

図 3



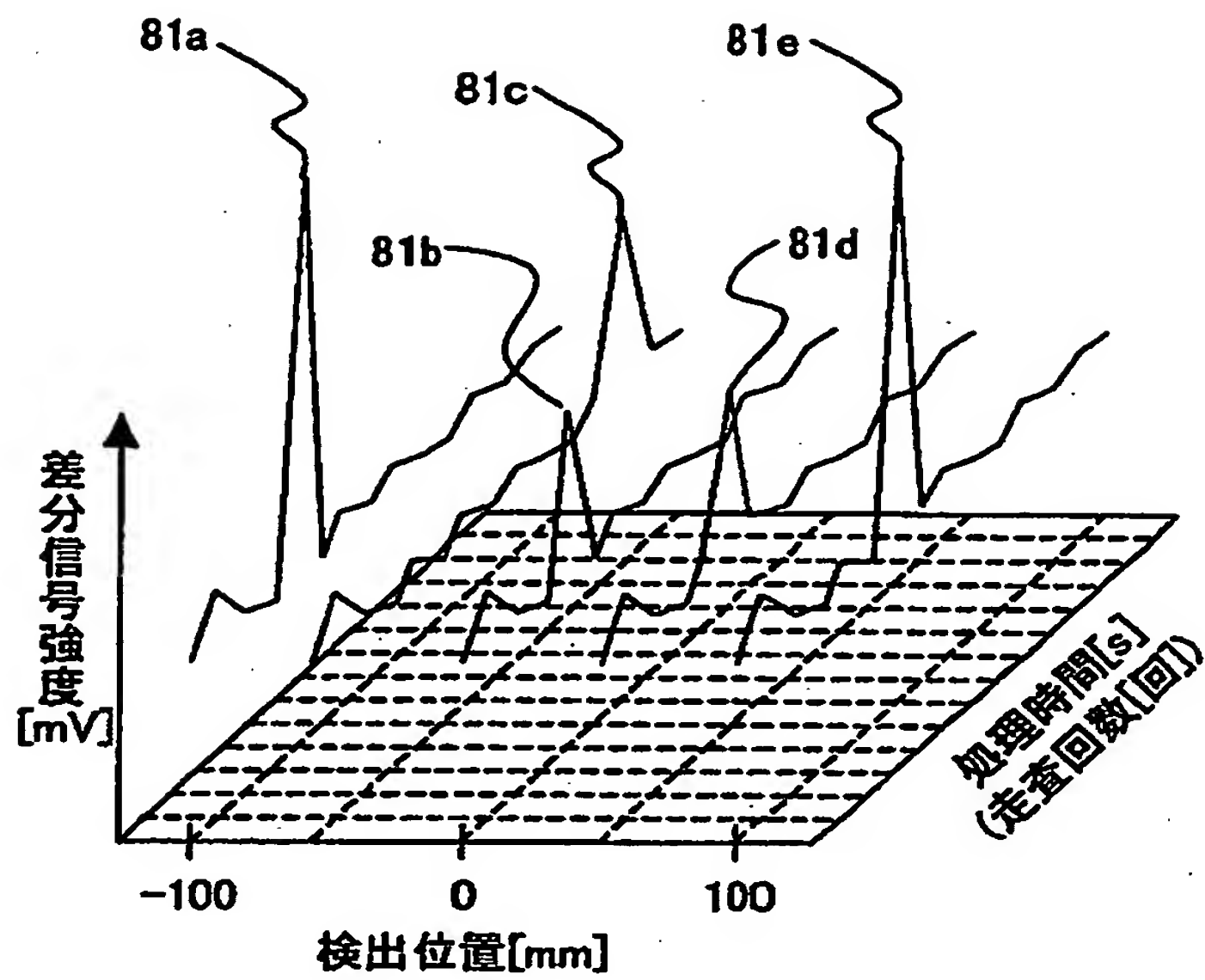
【図 4】

図 4



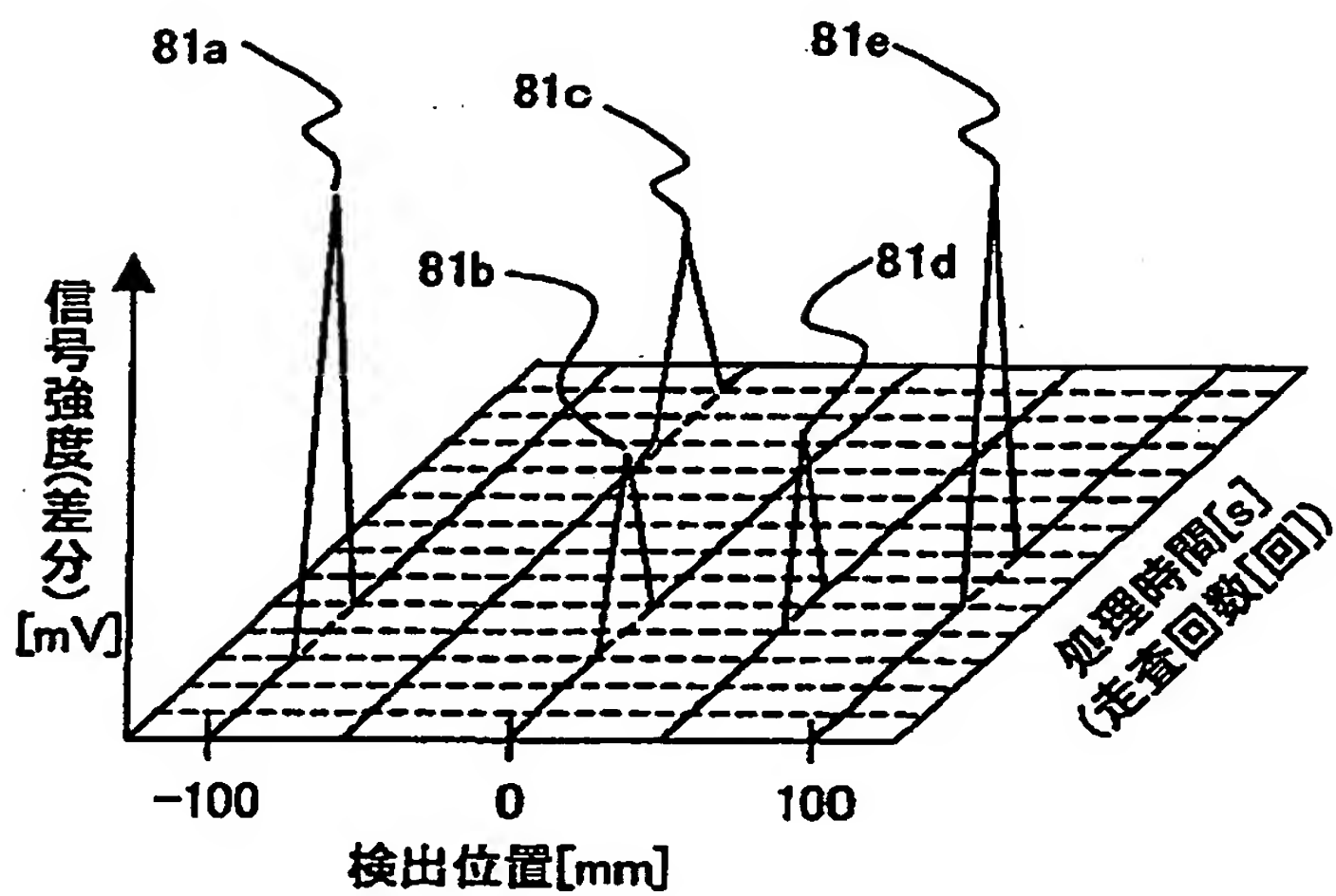
【図5】

図 5



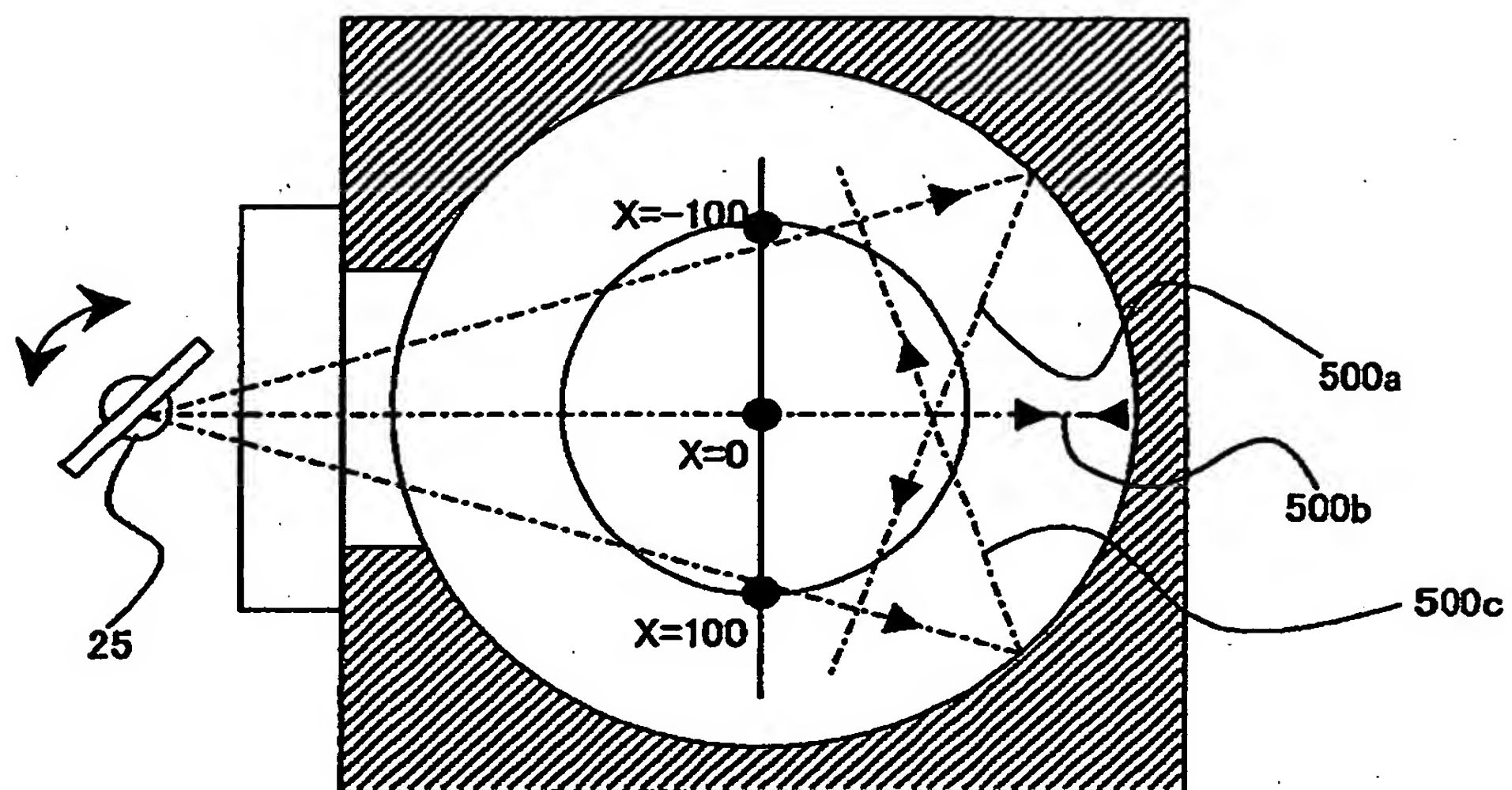
【図6】

図 6



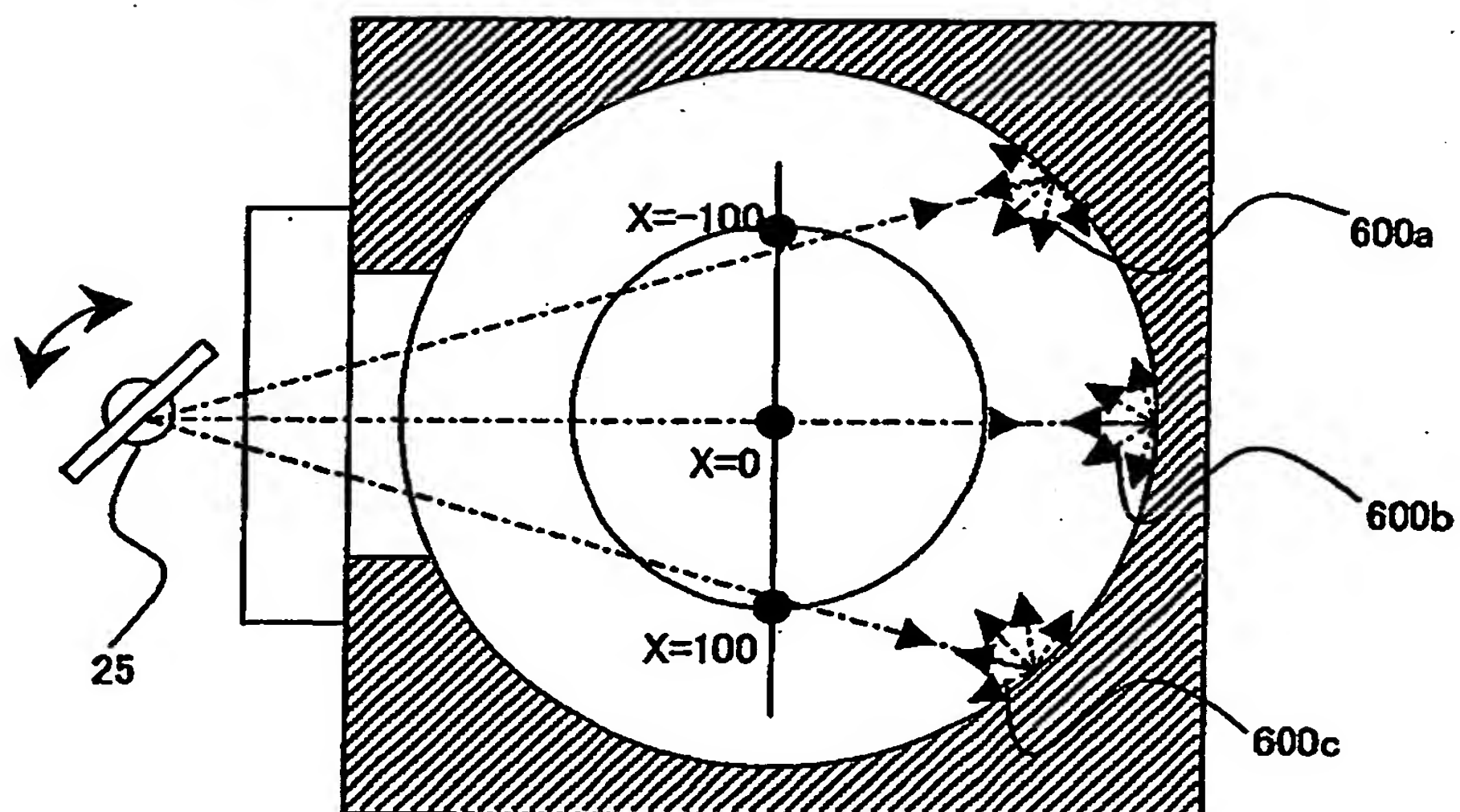
【図 7】

図 7



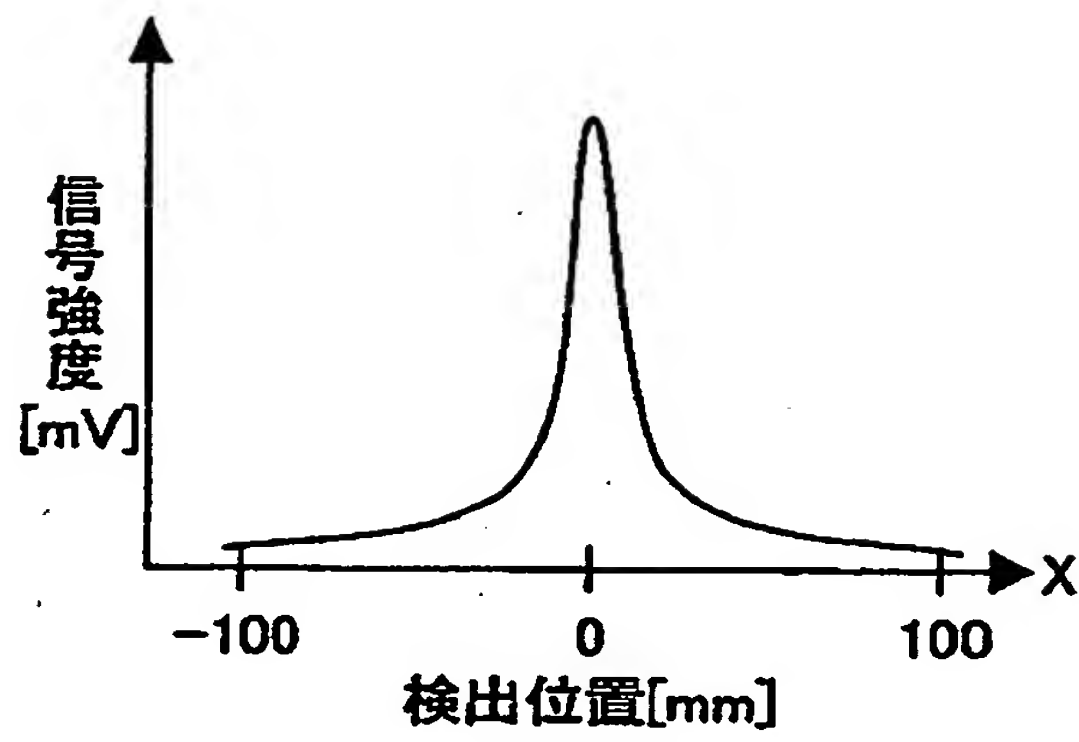
【図 8】

図 8



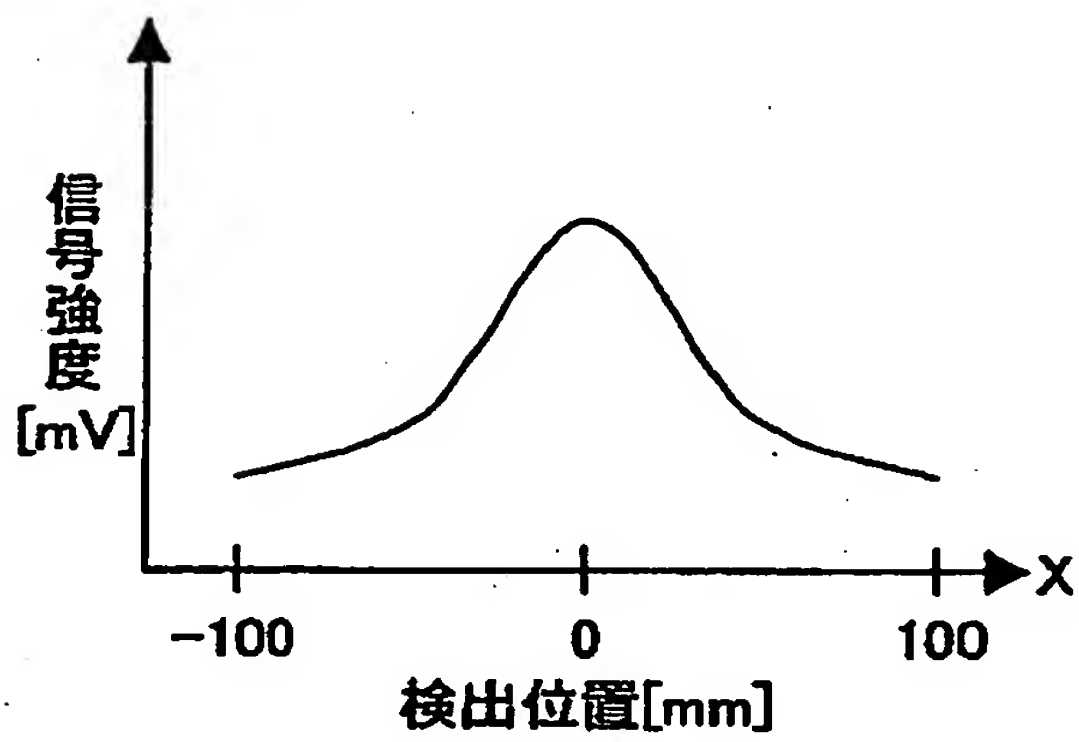
【図 9】

図 9



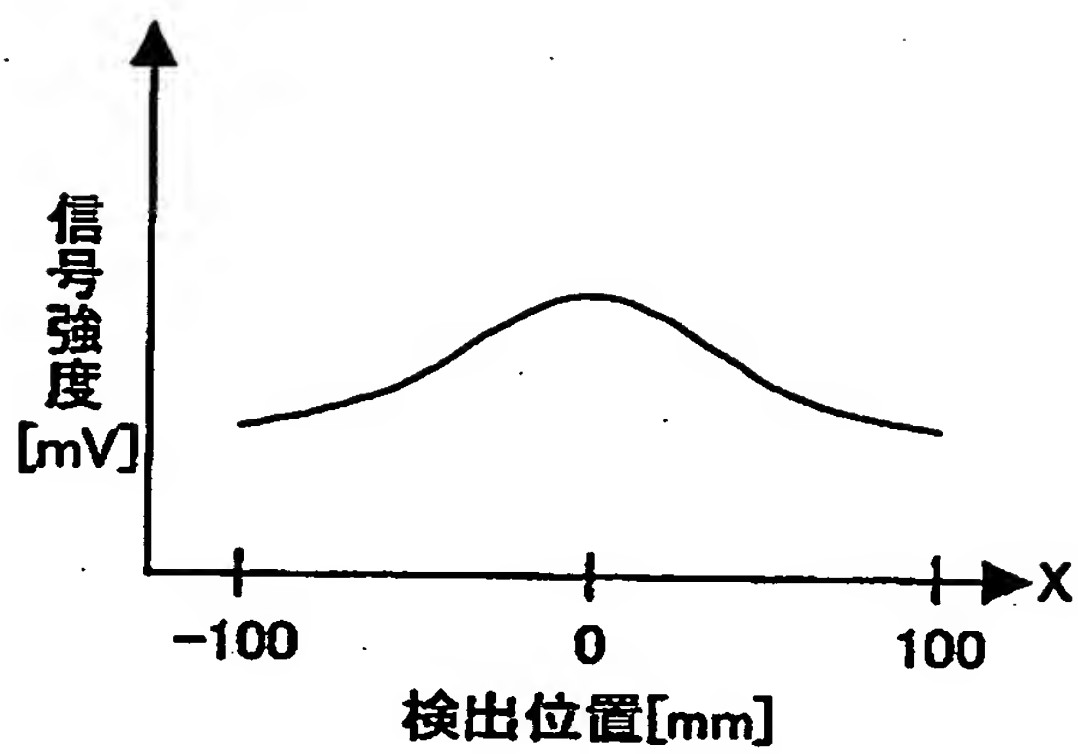
【図 10】

図 10



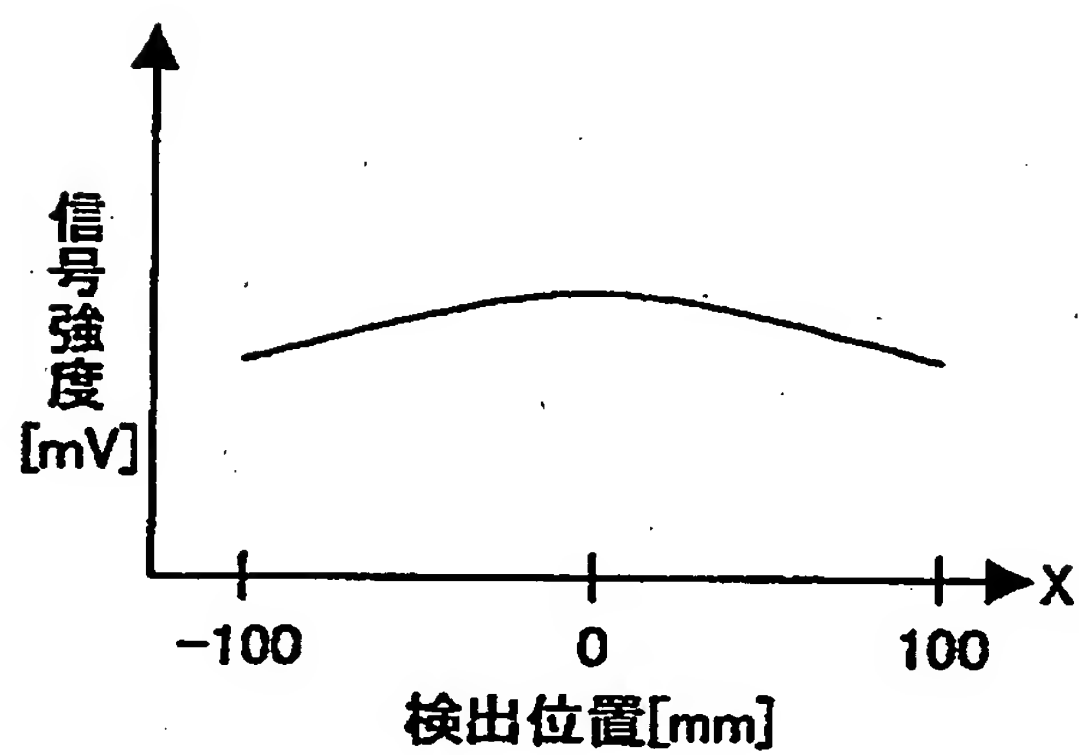
【図 1 1】

図 1 1



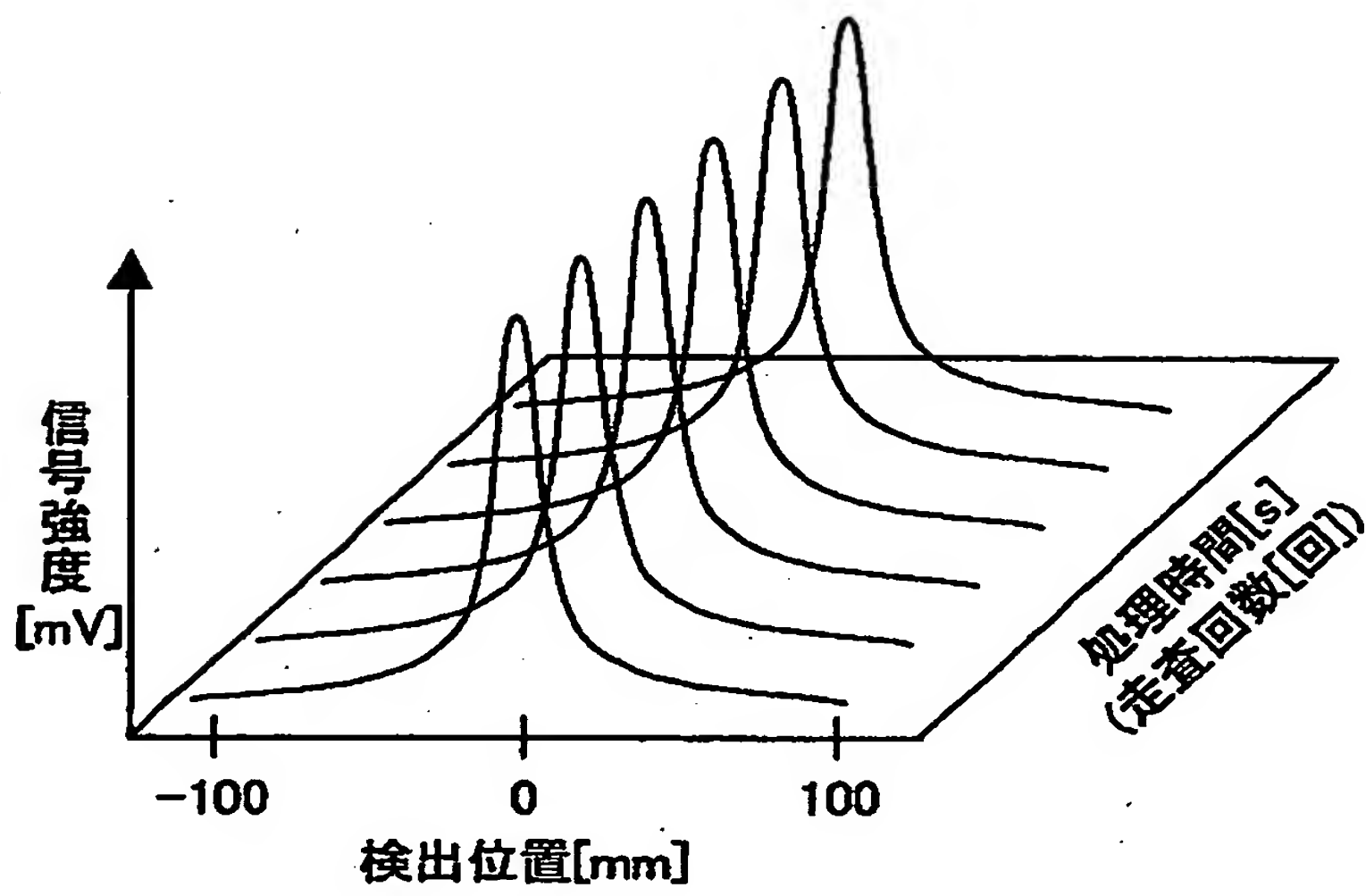
【図 1 2】

図 1 2



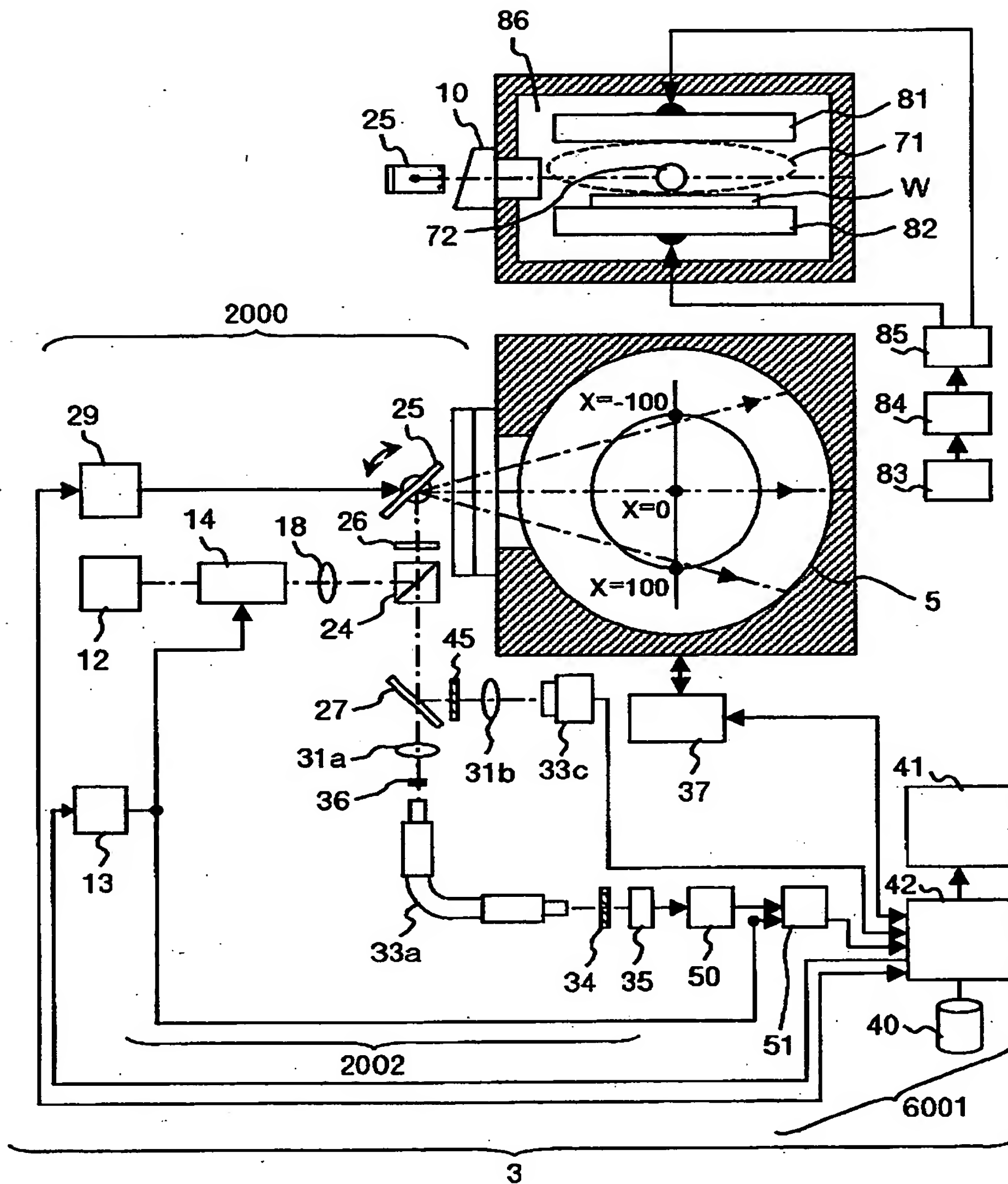
【図 1 3】

図 1 3



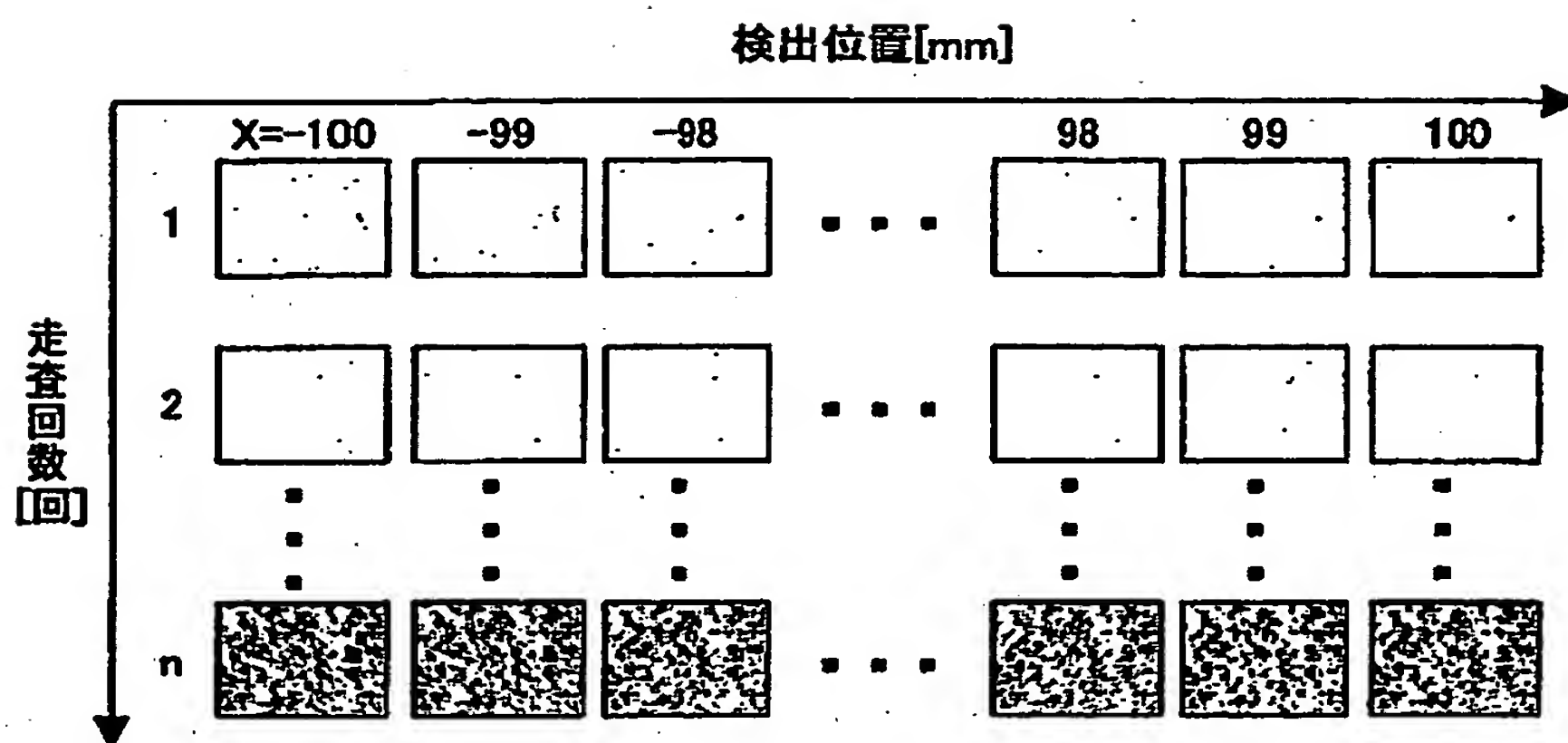
【図 1 4】

図 1 4



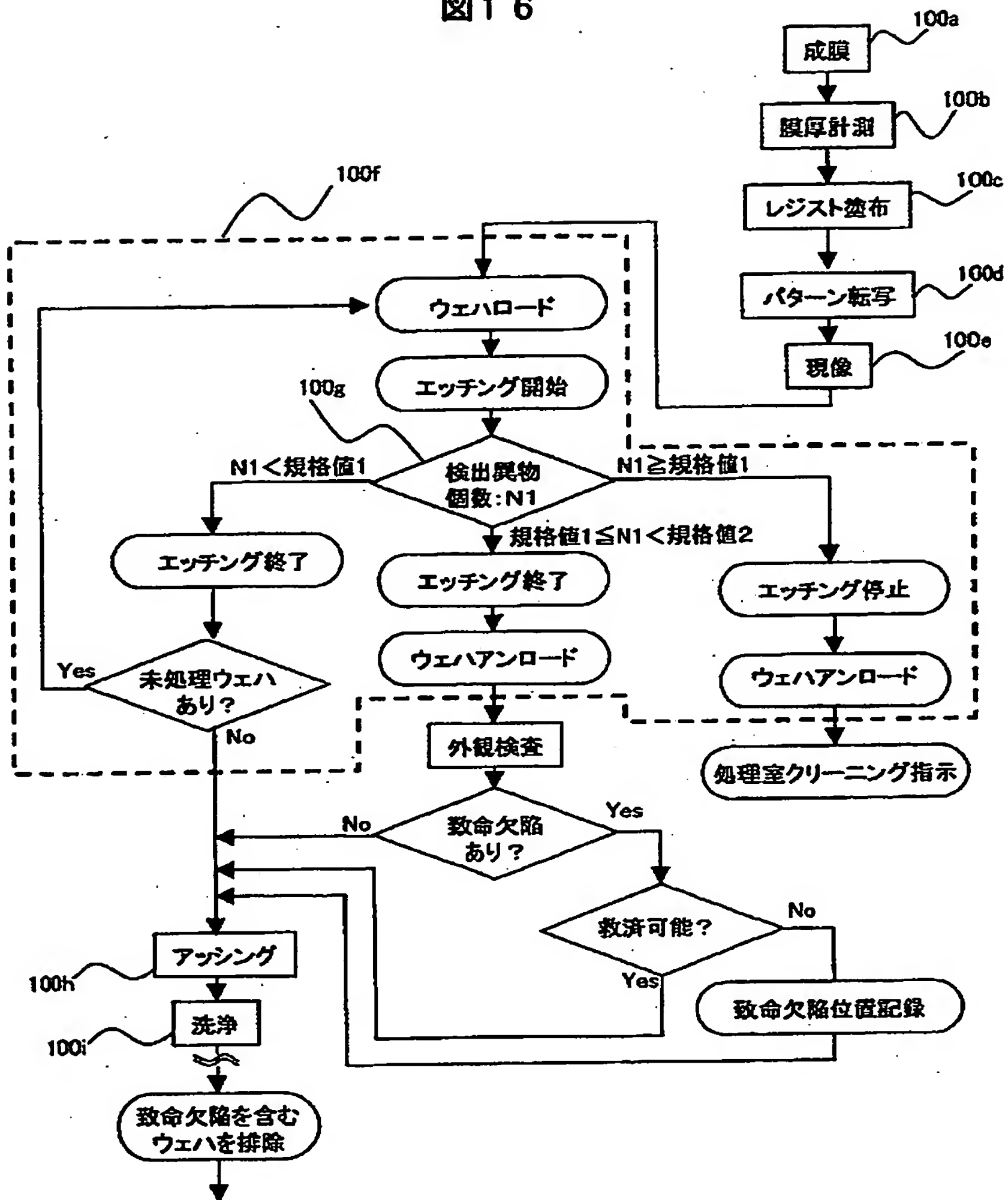
【図 1 5】

図 1 5

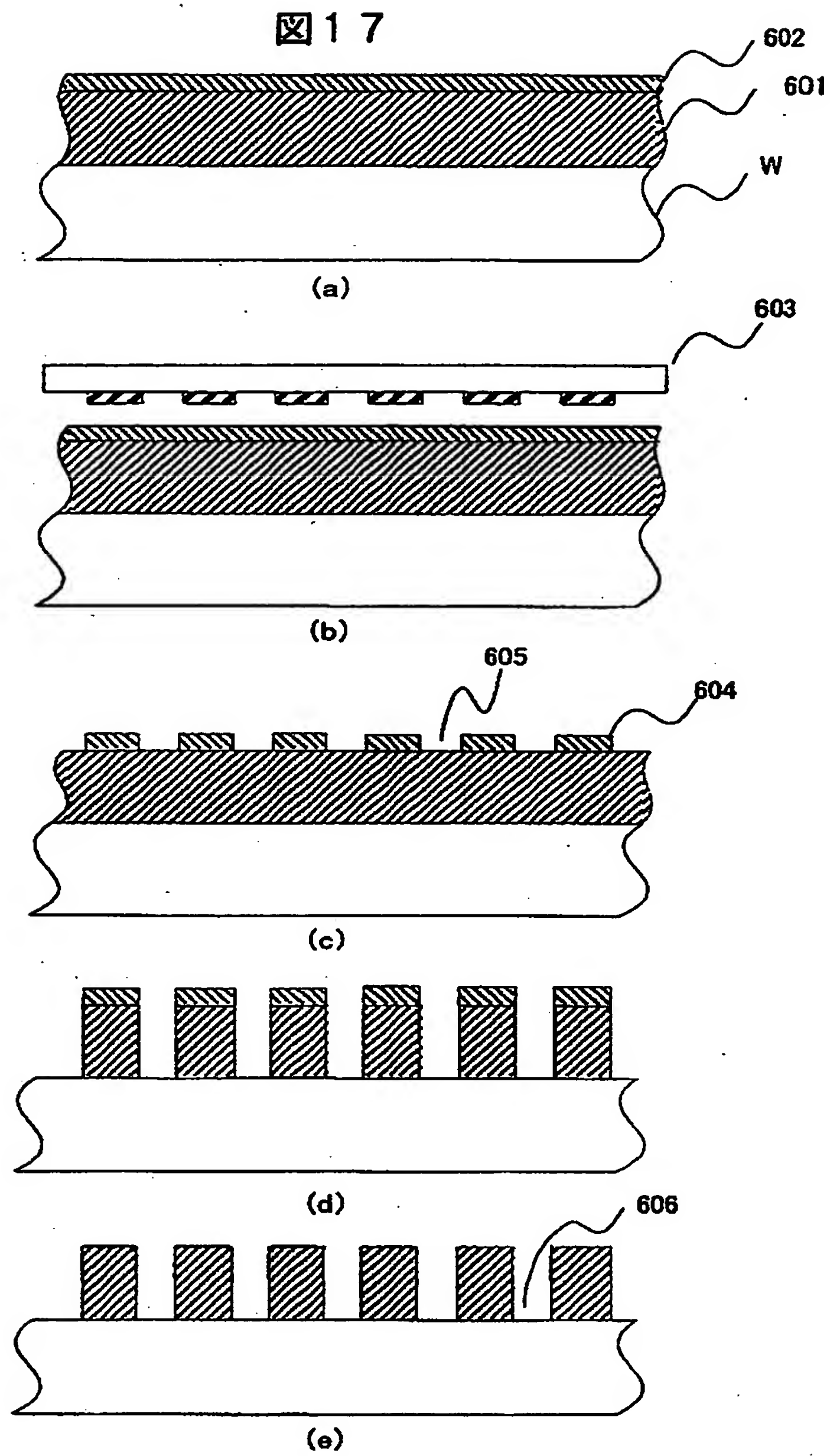


【図16】

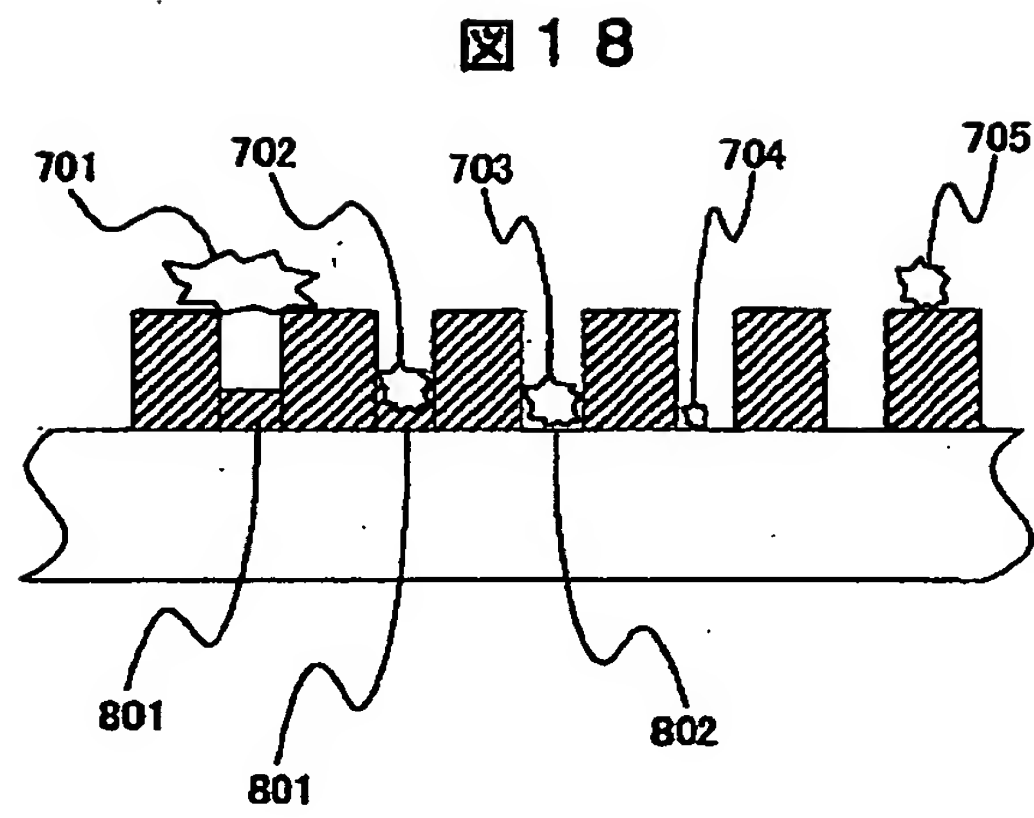
図16



【図 1 7】



【図 1 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

処理室内壁の汚染状況と処理室内に浮遊した異物のモニタリングを同時に行えるようにすること。また、該検出及びモニタリングを1つの観測用窓と1つのユニットで構成された光学系によって行えるようにすること。

【解決手段】

処理室 8 6 内で被処理基板 W 上に薄膜を生成または被処理体上に生成した薄膜を加工する処理を施す際に、上記処理室 8 6 と、該処理室の観測用窓 1 0 に搭載されたレーザ照明・散乱光検出光学系 2 0 0 0, 2 0 0 1 とを有し、レーザ光を、該レーザ照明光学系 2 0 0 0 により上記観測用窓 1 0 を通して上記処理室内に照射し、散乱光検出光学系 2 0 0 1 より上記処理室内の異物によって散乱され上記観測用窓 1 0 を通過した後方散乱光、及び、上記処理室内壁 5 によって反射もしくは散乱され、上記観測用窓 1 0 を通過したを受光するようにした。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

氏 名 株式会社日立製作所